

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CRISTIANE WEBER

ESTUDO SOBRE VIABILIDADE DE USO DE RESÍDUOS DE COMPENSADOS,
MDF E MDP PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

CURITIBA

2011

CRISTIANE WEBER

ESTUDO SOBRE VIABILIDADE DE USO DE RESÍDUOS DE COMPENSADOS,
MDF E MDP PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, área de concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

CURITIBA

2011

Ficha catalográfica elaborada por Deize C. Kryczyk Gonçalves – CRB 1269/PR

Weber, Cristiane

Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados - 2011.

87 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 25/03/2011

Inclui bibliografia

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Compensados de madeira.
2. Chapa de madeira aglomerada.
3. Madeira aglomerada.
4. Indústria madeireira.
5. Teses. I. Iwakiri, Setsuo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela Vida e pelas oportunidades de aprendizado e evolução.

Ao professor Dr. Setsuo Iwakiri, pelo auxílio e pela orientação, e ao professor Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, pela co-orientação deste trabalho.

Aos professores Dr. Éverton Hillig e Dr. José Guilherme Prata, pelas dicas e correções deste trabalho.

Aos professores e colaboradores do PPGEF – UFPR, pelo apoio direto e indireto nesta pesquisa.

Às empresas fornecedoras dos resíduos de painéis, pela imediata disponibilidade do material utilizado nesta pesquisa.

Às colegas e amigas, companheiras para todas as horas, Lívia, Vanessa e Daniele, pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos demais colegas, pelos bons momentos compartilhados nos trabalhos práticos e pelas dicas referentes a este trabalho.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro para realizar este trabalho.

RESUMO

As indústrias produtoras e consumidoras de painéis reconstituídos de madeira apresentam perdas significativas em resíduos desses painéis, que podem retornar à produção. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de uso de resíduos originados da produção de painéis compensados, MDF e MDP para fabricação de painéis aglomerados. A resina ureia-formaldeído (UF) foi utilizada na produção dos painéis, em proporções de 6% e 10% com base no peso seco das partículas de madeira, juntamente com 2% de catalisador e 1% de parafina. O delineamento experimental foi composto por 10 tratamentos com três repetições cada, totalizando 30 painéis. Os painéis foram submetidos aos seguintes ensaios das propriedades físico-mecânicas: massa específica aparente, absorção d'água e inchamento em espessura (2 e 24 horas), flexão estática, arrancamento de parafusos (superfície e topo) e tração perpendicular à superfície. Foram analisadas qualitativamente a utilização dos resíduos de painéis de forma pura e em misturas e a proporção de resina. Os resultados foram avaliados conforme os requisitos das normas EN e ABNT e apresentaram valores médios com diferenças significativas associadas às proporções de misturas dos resíduos e de resina. Os painéis produzidos com resíduos de MDP e MDF (T4), compensados e MDF (T6) e com a mistura dos três resíduos (T7) apresentaram os melhores resultados. Portanto, os resíduos de painéis possuem potencial técnico para produção de painéis de madeira aglomerada, com vantagens econômicas e ambientais.

Palavras-chave: Painéis de madeira aglomerada. Resíduos de painéis de madeira. Compensados. MDF. MDP. Gestão de resíduos sólidos.

ABSTRACT

Industries that produces and consume reconstituted wood panels show significant losses in waste on these panels that may return to the production. This study aimed to evaluate the potential use of plywood, MDF and MDP to manufacture particleboard. The resin urea formaldehyde (UF) was used in the production of the panels in proportions of 6% and 10% based on dry weight of wood particles, along with 2% catalyst, and 1% of paraffin. The experiment comprised 10 treatments with three replicates each, totaling 30 panels. The panels were subjected to the following tests of physical and mechanical properties: density, water absorption and thickness swelling (2 and 24 hours), bending, screw (surface and top) and *tension perpendicular to surface* (internal bond). Pure waste panels and its mixtures, and different proportion of resin were studied. The results were evaluated according to the requirements of EN standards and ABNT and have showed significant differences associated with the proportions of mixed waste and resin. The panels produced by residual MDP and MDF (T4), plywood and MDF (T6) and a mixture of three residues (T7) showed the best results. Therefore, waste panels have the technical potential production of plywood panels, with economic and environmental advantages.

Keywords: Plywood panels. Waste wood panels. Plywood. MDF. MDP. Solid waste management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS RECONSTITUÍDOS E COMPENSADOS NO BRASIL (2000-2009 ¹).....	15
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO NACIONAL DOS PAINÉIS RECONSTITUÍDOS E PAINÉIS COMPENSADOS (2000-2009 ¹)	16
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA	20
FIGURA 4 - UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS EM PLANTA NORTE AMERICANA ...	38
FIGURA 5 - RETALHOS DESCARTADOS NO PROCESSO PRODUTIVO DOS PAINÉIS DE MADEIRA. A E B: MDF E MDP MISTURADOS; C E D: COMPENSADOS.	41
FIGURA 6 - RESÍDUOS PICADOS PELAS INDÚSTRIAS FORNECEDORAS. A: MDF; B: MDP; C: COMPENSADO	42
FIGURA 7 - MOINHO DE MARTELOS (A), PENEIRAS UTILIZADAS NO MOINHO (B), PARTE INTERNA DO MOINHO DE MARTELOS (C) E CLASSIFICADOR DE PENEIRA UTILIZADO PARA RETIRADA DE FINOS DAS PARTÍCULAS (D).	43
FIGURA 8 - RESÍDUOS TRANSFORMADOS EM PARTÍCULAS PARA FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA. A: MDF; B: MDP; C: COMPENSADO	44
FIGURA 9 - CLASSIFICADOR AUTOMÁTICO (A) E CONJUNTO DE PENEIRAS (B) UTILIZADAS NO TESTE DE GRANULOMETRIA.....	49
FIGURA 10 - ENCOLADEIRA DE TAMBOR, ONDE FORAM MISTURADAS AS PARTÍCULAS, A RESINA, O CATALISADOR E A EMULSÃO DE PARAFINA (A E B).	51
FIGURA 11 - FORMAÇÃO DO COLCHÃO DE PARTÍCULAS.....	52
FIGURA 12 - COLCHÃO FORMADO (A) PARA PRÉ-PRENSAGEM (B E C) E COLCHÃO PRONTO PARA A PRENSAGEM A QUENTE (D E E).....	53
FIGURA 13 - PROCESSO DE PRENSAGEM DOS PAINÉIS. A E B) CARREGAMENTO DA PRENSA QUENTE; C) PRENSAGEM A 160°C; D) ABERTURA DA PRENSA; E) PAINÉIS PRENSADOS; F) PAINÉIS ESQUADREJADOS.....	54
FIGURA 14 - CORPOS DE PROVA RETIRADOS DE CADA PAINEL PRODUZIDO	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MATÉRIA-PRIMA, MADEIRA E DERIVADOS CONSUMIDOS MENSALMENTE PELAS EMPRESAS AMOSTRADAS E MÉDIAS PROPORCIONAIS DE APROVEITAMENTO	30
TABELA 2 - ESTIMATIVA DOS VOLUMES MENSAIS DE RESÍDUOS GERADOS POR CLASSE DE MATÉRIA-PRIMA E POR MUNICÍPIO NAS EMPRESAS VISITADAS (UNIDADES EM M ³).....	31
TABELA 3 - RENDIMENTOS OBTIDOS APÓS BENEFICIAMENTO	35
TABELA 4 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM PLANTA DE CHAPAS DE COMPOSIÇÃO.....	38
TABELA 5 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	45
TABELA 6 - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DA RESINA E DA PARAFINA UTILIZADAS NOS PAINÉIS	47
TABELA 7 - CONJUNTO DE PENEIRAS UTILIZADO NO TESTE DE GRANULOMETRIA DAS PARTÍCULAS.....	49
TABELA 8 - GRANULOMETRIA DAS PARTÍCULAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	57
TABELA 9 - TEOR DE UMIDADE MÉDIO DAS PARTÍCULAS.....	58
TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS	59
TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE UMIDADE DOS PAINÉIS	61
TABELA 12 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA	64
TABELA 13 - VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA E DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS.....	70
TABELA 14 - VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS.....	74
TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFÍCIE E NO TOPO DOS PAINÉIS.....	77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 JUSTIFICATIVA.....	9
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivo geral.....	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 PAINÉIS DE MADEIRA	10
2.1.1 Painéis compensados.....	11
2.1.2 Painéis MDF	12
2.1.3 Painéis MDP	13
2.1.4 Produção de painéis no Brasil	14
2.1.5 Mercado e perspectivas para painéis reconstituídos de madeira	16
2.1.6 Desenvolvimento da indústria de painéis de madeira aglomerada no mundo	17
2.1.7 Processo produtivo de painéis de madeira aglomerada	19
2.1.8 Variáveis que interferem nas propriedades dos painéis	21
2.2 RESÍDUOS DA CADEIA PRODUTIVA DE PAINÉIS E DA INDÚSTRIA MOVELEIRA.....	29
2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À INDÚSTRIA MADEIREIRA	31
2.4 GESTÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE PAINÉIS.....	33
2.4.1 Geração de resíduos sólidos	34
2.4.2 Impactos ambientais dos resíduos sólidos	36
2.4.3 Alternativas e soluções tecnológicas mitigadoras	36
2.5 ASPECTOS LEGAIS PARA RESÍDUOS SÓLIDOS	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 MATERIAIS	40
3.2 MÉTODOS	42
3.2.1 Geração de partículas	42
3.2.2 Descrição do delineamento experimental.....	44
3.2.3 Cálculo dos componentes dos painéis	45
3.2.4 Classificação granulométrica das partículas.....	48
3.2.5 Determinação do teor de umidade.....	50
3.2.6 Aplicação da resina e dos aditivos químicos	51
3.2.7 Preparação do colchão de partículas	51
3.2.8 Pré-prensagem	52
3.2.9 Prensagem	53
3.2.10 Avaliação qualitativa dos painéis	54
3.2.11 Análise estatística	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1 CARACTERÍSTICAS DAS PARTÍCULAS	57
4.1.1 Granulometria das partículas.....	57
4.1.2 Teor de umidade das partículas	58
4.2 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS	58
4.2.1 Propriedades físicas	58
4.2.1.1 Massa específica aparente.....	58
4.2.1.2 Teor de umidade dos painéis.....	61
4.2.1.3 Absorção de água e inchamento em espessura.....	63
4.2.2 Propriedades mecânicas	69

4.2.2.1 Flexão estática.....	69
4.2.2.2 Tração perpendicular à superfície	74
4.2.2.3 Resistência ao arrancamento de parafuso	76
5 CONCLUSÕES	79
6 RECOMENDAÇÕES	80

1 INTRODUÇÃO

A preservação do meio ambiente está no centro das discussões, nos contextos mundial, nacional e regional, em conferências e congressos que tratam da sustentabilidade do Planeta e, conseqüentemente, da sustentabilidade humana na Terra, visando a manutenção qualitativa e quantitativa dos recursos naturais para o abastecimento de uma população em elevado crescimento.

Os problemas relacionados às questões ambientais como a poluição e a geração de resíduos, e suas conseqüências, estão, em muitos casos, associados aos processos produtivos. O melhor aproveitamento da matéria-prima por meio de processos que incorporem o conceito de logística reversa e os princípios de gestão ambiental vem ganhando importância nas indústrias e instituições de pesquisas, pois, além dos benefícios ambientais, trazem vantagens econômicas às empresas.

Um indicador desta demanda ambiental é a adesão das empresas aos processos de certificações ambientais e florestais, solicitados pelos mercados, especialmente os internacionais, exigindo do setor produtivo a responsabilidade ambiental e social na exploração dos recursos florestais, com a máxima preservação possível destes recursos.

O atual consumo de madeira em grande escala, pelos diversos setores da sociedade, faz com que surjam discussões e questionamentos sobre os impactos dos resíduos madeireiros ao ecossistema, instigando a ciência florestal no desenvolvimento de pesquisas sobre soluções mitigadoras dos impactos ambientais gerados nos processos produtivos, onde tem-se a matéria-prima madeira como principal componente do processo.

Neste contexto, existe a demanda por estudos para viabilizar a utilização de resíduos de painéis de madeira, oriundos do setor moveleiro, da construção civil e outros setores onde ocorre elevado descarte desses produtos, para compor novos painéis. Essas pesquisas podem favorecer o melhor aproveitamento da matéria-prima, proporcionando maior valor agregado ao produto.

Os resíduos de painéis de madeira possuem potencial econômico viável, ainda pouco explorado pelas empresas. A alternativa de seu aproveitamento na produção de novos painéis é uma ideia que vem ao encontro do apelo social atual, favorável à adoção de materiais que provoquem o mínimo impacto ambiental ao Planeta.

1.1 JUSTIFICATIVA

Muitas empresas que utilizam painéis de madeira como matéria-prima nos processos produtivos, principalmente as indústrias moveleiras e a de construção civil, podem destinar os resíduos desses painéis (aparas, retalhos ou painéis danificados) ao ecossistema ou à queima para geração energética, podendo causar impactos ambientais ao solo, aos recursos hídricos, à fauna, à flora e a atmosfera devido a composição química encontrada nos produtos, como resinas, parafina, extrativos da própria madeira, entre outras substâncias. Este material, ainda visto como resíduo, apresenta grande potencial como matéria-prima para produção de novo painéis.

O destino inadequado, a deposição indevida dos resíduos no meio ambiente ou mesmo a deposição em aterros industriais provocam, além de danos ambientais, prejuízo econômico, onde a logística reversa, o reaproveitamento ou o co-processamento adequados desses resíduos poderiam tornar-se lucrativo à empresa geradora.

A necessidade de máximo aproveitamento dos resíduos das indústrias que utilizam produtos do setor florestal, visando a otimização do uso da matéria-prima, requer pesquisas com foco na busca pelo melhor aproveitamento desse tipo de material, viabilizando o consumo dos produtos gerados.

Pesquisas que visem avaliar os resíduos provenientes de painéis compensados, MDF e aglomerados, estes ultimamente conhecidos como MDP, utilizados na fabricação de móveis, na construção civil e em outros segmentos, incorporando-os na produção de novos painéis de madeira aglomerada, são importantes, pois atendem ao compromisso ambiental e aos interesses econômicos de uma empresa.

A importância deste estudo está na técnica produtiva e na análise qualitativa dos produtos originados de resíduos de painéis, incentivando a produção sustentável, atendendo a logística reversa e a viabilidade econômica, favorecendo, desta forma, o meio ambiente e a sociedade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de uso de resíduos originados da produção de painéis compensados, MDF e MDP para fabricação de painéis aglomerados.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) transformar os resíduos de painéis compensados, MDF e MDP em partículas, conforme as características mais adequadas à fabricação de painéis aglomerados;
- b) produzir painéis de madeira aglomerada de partículas com os resíduos de painéis compensados, MDF e MDP;
- c) avaliar as propriedades físico-mecânicas dos painéis produzidos com resíduos de painéis compensados, MDF e MDP;
- d) verificar a viabilidade técnica no aproveitamento de resíduos de painéis para produção de painéis aglomerados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PAINÉIS DE MADEIRA

Os painéis de madeira surgiram da necessidade de amenizar a anisotropia e a instabilidade dimensional da madeira maciça, diminuir seu custo e melhorar as propriedades isolantes, térmicas e acústicas. Adicionalmente, suprem uma necessidade reconhecida no uso da madeira serrada e ampliam a sua superfície útil, através da expansão de uma de suas dimensões (a largura), para, assim, otimizar a sua aplicação (REMADE, 2004a).

Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida e reconstituídos através de ligação adesiva (IWAKIRI, 2005).

A colagem da madeira contribui de forma direta na conservação de recursos florestais, tendo em vista a possibilidade de aproveitamento integral deste material, por meio da utilização de pequenos elementos de madeira de forma e dimensões variadas para posterior aplicação em diversos tipos de produtos, utilizando métodos e processos adequados para cada finalidade (IWAKIRI, 2005).

O desenvolvimento tecnológico verificado no setor de painéis tem contribuído para o surgimento de novos produtos no mercado, que vêm preencher os requisitos de uma demanda cada vez mais especializada e exigente (REMADE, 2004a).

O Brasil está entre os mais avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída. É também o país com o maior número de fábricas de última geração. Com investimentos contínuos em tecnologia e automação, as empresas construíram versáteis e modernos parques industriais destinados à instalação de novas unidades, à atualização tecnológica das plantas já existentes, à implantação de linhas contínuas de produção e aos novos processos de impressão, de impregnação, de revestimento e de pintura (ABIPA, 2010).

As utilizações dos painéis de madeira estão diretamente associadas às propriedades físicas e mecânicas dos mesmos. As restrições técnicas para o uso e a aplicação de diferentes tipos de painéis de madeira envolvem características como resistência, uso interior ou exterior, uniformidade da superfície, tolerância à usinagem, resistência à fixação de parafusos, entre outros. Diferentes tipos de painéis de madeira podem sobrepor tais restrições técnicas (ABIMCI, 2009).

Os principais usos e aplicações dos painéis de madeira estão associados principalmente aos segmentos da construção civil e de móveis. Os painéis de madeira podem ser diferenciados por suas propriedades, as quais permitem aplicações nesses dois segmentos (ABIMCI, 2009).

2.1.1 Painéis compensados

O compensado é um painel constituído de lâminas de madeira sobrepostas e cruzadas entre si, as quais são unidas por resinas, através da aplicação de pressão e calor. Para sua fabricação utiliza-se geralmente uma quantidade ímpar de lâminas. A qualidade do compensado depende, entre outros aspectos, da qualidade

das lâminas empregadas na sua composição (incidência de defeitos, número de emendas, coloração e outros) (ABIMCI, 2009).

Segundo Iwakiri (2005) o compensado é um painel fabricado através da colagem de lâminas em número ímpar de camadas, com a direção da grã perpendicular entre as camadas adjacentes.

Na produção de painéis compensados, são utilizadas madeira de pinus, em maior quantidade, madeiras tropicais (ABIMCI, 2009) e eucaliptos.

Com relação aos principais usos e aplicações, o compensado atende a uma demanda diversificada que se mostra fortemente segmentada entre construção civil, indústria moveleira, embalagens, entre outros (ABIMCI, 2009).

2.1.2 Painéis MDF

O MDF é um painel de madeira reconstituída, assim como o MDP e o HDF. MDF é a sigla para *Medium Density Fiberboard* ou Painel de Fibras de Média Densidade (ABIPA, 2010).

Neste painel, as fibras de madeira são aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa de pratos ou prensa contínua de última geração. O MDF é um painel homogêneo, com excelente estabilidade dimensional (isotropia), de superfície uniforme e lisa (ABIPA, 2010).

De acordo com Iwakiri (2005), os painéis de fibras de madeira são produzidos a partir de fibras individualizadas, cuja adesão primária se processa através do entrelaçamento das fibras e pelas propriedades adesivas de alguns componentes químicos da madeira, como a lignina.

Conforme a ABIPA (2010), esses painéis são produzidos com madeiras provenientes de florestas plantadas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, sendo um produto ecologicamente correto.

O MDF é um painel que apresenta excelentes condições de usinagem, tanto nas bordas, quanto nas faces. Com densidade adequada e a homogeneidade proporcionada pelas fibras, o painel MDF pode ser facilmente torneado, entalhado e usinado (ABIPA, 2010).

Os painéis de fibras podem ser destinados a uma ampla gama de aplicações, tais como painéis de isolamento térmico e acústico, divisórias internas,

móveis, portas, molduras, revestimentos em geral, entre outras, em função da densidade do painel (IWAKIRI, 2005). Na construção civil é utilizado para fabricação de pisos, rodapés, almofadas de portas, batentes, portas usinadas, peças torneadas como balaústres de escadas, pés de mesas e também em embalagens. Na indústria moveleira são usados em peças com usinagens e trabalho de baixo relevo, nos fundos de móveis, lateral e fundo de gavetas e também para artesanatos diversos (ABIPA, 2010).

2.1.3 Painéis MDP

Os painéis de madeira aglomerada, comercialmente denominado de “aglomerado” ou MDP, são painéis produzidos com partículas de madeira, com a incorporação de um adesivo sintético, reconstituídos numa matriz randômica e consolidados através de aplicação de calor e pressão na prensa quente. Outros materiais lignocelulósicos podem ser utilizados na fabricação de aglomerados (IWAKIRI, 2005; MALONEY, 1993).

Recentemente, assuntos relacionados às especificações e normatização deste produto têm sido discutidos a fim de consolidar a terminologia *Medium Density Particleboard* (MDP), ou painéis de partículas de média densidade. Além disso, o desenvolvimento de novas tecnologias, bem como as etapas do processo produtivo, tem sido estudado a fim proporcionar melhorias quanto às propriedades e qualidade do produto final (ABNT NBR 14810-1, 2010).

O MDP é um painel de madeira reconstituída, assim como o MDF e o HDF. As partículas são posicionadas de forma diferenciada, com as maiores dispostas ao centro e as mais finas nas superfícies externas, formando três camadas. São aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua de última geração. É o resultado da evolução da tecnologia de prensas contínuas e pertence a uma nova geração de painéis de partículas de média densidade. Estes painéis são produzidos com madeiras de plantios florestais de *Pinus* e *Eucalyptus* (ABIPA, 2010).

O MDP é um painel homogêneo e de boa estabilidade dimensional (largura, comprimento e espessura), resistente à flexão e ao arranque de parafusos (ABIPA, 2010).

Pelas suas características, o MDP é especialmente indicado para a indústria moveleira e marcenaria, na produção de móveis residenciais e comerciais de linhas retas, e, de forma secundária, na construção civil (REMADE, 2004b). Suas principais aplicações são: portas retas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos retos, tampos pós-formados, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta (ABIPA, 2010).

2.1.4 Produção de painéis no Brasil

Segundo o estudo setorial da Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI (2009), a indústria brasileira de compensados produziu aproximadamente 2,5 milhões de metros cúbicos de compensados de coníferas e de folhosas em 2008.

Conforme informações da Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA (2010), as empresas fabricantes de MDF têm capacidade nominal instalada de 4,1 milhões de metros cúbicos ao ano, enquanto as empresas fabricantes de painéis MDP têm capacidade nominal instalada de 4,8 milhões de metros cúbicos ao ano.

A Figura 1 representa a evolução anual da produção dos painéis reconstituídos (MDF, MDP e chapa dura) e compensados de pinus, respectivamente, desde o início desta década, na indústria brasileira.



FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS RECONSTITUÍDOS E COMPENSADOS NO BRASIL (2000-2009¹)

FONTE: ABIPA, ABIMCI, AMS, BRACELPA, (2009/2010), ADAPTADO POR STCP E DIVULGADO PELA ABRAF (2010).

NOTAS: ¹Dados estimados. ²Painéis Reconstituídos, segundo ABIPA, incluem: MDP, MDF e Chapa Dura (OSB excluído).

Na Figura 1 pode-se observar que a produção de painéis reconstituídos encontra-se em crescimento contínuo, enquanto a produção de painéis compensados está decrescendo desde 2006, ano subsequente ao que apresentou a maior produção dessa década.

2.1.5 Mercado e perspectivas para painéis reconstituídos de madeira

A Figura 2 representa a evolução anual do consumo dos painéis reconstituídos (MDF, MDP e chapa dura) e compensados de pinus no mercado brasileiro, no período que compreende os anos de 2000 a 2009.



FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO NACIONAL DOS PAINÉIS RECONSTITUÍDOS E PAINÉIS COMPENSADOS (2000-2009¹)

FONTE: ABIPA, ABIMCI, AMS, BRACELPA, (2009/2010), ADAPTADO POR STCP E DIVULGADO PELA ABRAF (2010)

NOTAS: ¹Dados estimados. ²Painéis Reconstituídos, segundo ABIPA, incluem: MDP, MDF e Chapa Dura (OSB excluído).

Na Figura 2 pode-se observar que o consumo nacional de painéis reconstituídos apresentou crescimento contínuo, enquanto o consumo nacional de

painéis compensados foi inferior a produção nacional deste produto, conforme apresenta o gráfico.

2.1.6 Desenvolvimento da indústria de painéis de madeira aglomerada no mundo

Segundo Maloney (1993), Ernst Hubbard publicou, em 1887, o primeiro trabalho sobre painéis de partículas propondo a utilização de serragem e albumina de sangue, sob a aplicação de calor e pressão. Em 1889, Krammer obteve uma patente alemã para um método de colagem de maravalhas sobre um pano de linho que eram colocados em camadas cruzadas, como um compensado. Nos Estados Unidos, em 1905, Watson mencionou a utilização de partículas finas de madeira para a produção de painéis. Esta patente mostra claramente um painel de “flake” muito semelhante aos painéis atuais.

Em 1926, Freudenberg relatou a utilização de maravalhas com os adesivos disponíveis naquela época. Ele percebeu que a quantidade de adesivo deveria estar entre 3 e 10%, o que surpreende pois é a faixa atualmente utilizada (MALONEY, 1993).

Na França, em 1933, Antoni relatou sobre painéis de uma mistura de fibras, partículas de madeira e elementos grandes como *excelsior* ou mesmo malha de metal, a serem coladas com resina fenólica ou uréica. Isto ocorreu no momento em que foram desenvolvidos estes dois tipos de resinas sintéticas (MALONEY, 1993).

Em 1936, nos Estados Unidos, Carson foi agraciado com uma patente, a qual ele se candidatou inicialmente em 1932, para estabelecer uma linha de produção regular para produzir painéis de partículas. Ele propôs utilizar serragem com umidade de aproximadamente 12%, impregnada com fungicida e produto retardante do fogo. O agente de ligação, um produto diluído em água a base de ureia-formaldeído, foi aplicado por aspersão sobre as partículas num tambor giratório. Antes da prensagem a quente foi feita uma pré-prensagem e ele propôs a cobertura do painel com um filme de resina sintética termoplástica. Muito do que ele relatou encontra-se nas indústrias de painéis de partículas (MALONEY, 1993).

Também em 1936, em uma patente americana, Loetscher forneceu dados interessantes sobre como produzir painéis de partículas em um sistema automatizado. De grande interesse foi a indústria Farley & Loetscher Manufacturing Co., que iniciou a produção de uma planta piloto em 1935 em Dubuque, Iowa. Nesta

planta, as partículas eram quebradas em um moinho e recebiam cola fenólica líquida em um misturador de concreto adaptado. Quatro colchões de 3,2 mm de espessura foram formados para cada abertura da prensa, pré-prensados e, então, arranjados em um pacote usando lâminas de metal entre os colchões. Uma prensa de 11 aberturas foi usada. Assim, 44 painéis foram prensados ao mesmo tempo. Esta planta piloto funcionou até 1942, quando parou por encontrar dificuldades com a matéria-prima. Talvez esta seja a primeira indústria de painéis de partículas (MALONEY, 1993).

Em 1943, Fred Fahrni obteve uma patente francesa sobre conteúdo de umidade das partículas mais favorável para prensagem. Fahrni tornou-se um dos grandes pioneiros desta indústria, desenvolvendo o sistema de painéis de partículas Novopan (MALONEY, 1993).

Em 1947, a corporação Plaswood em Wilton, New Hampshire, começou a fazer-se conhecida com um produto chamado Plaswood. Em 1951, a empresa Long-Bell Lumber começou a produção com uma planta pequena em Longview, Washington. Ao mesmo tempo a corporação U.S. Plywood em Anderson, Califórnia começou a produzir “Novoply” sob “franchise” do instituto Fahrni na Suíça. Logo depois a companhia Pack River Lumber começou a desenvolver sua planta Tenex em Dover, Idaho, a qual foi projetada para produzir painéis com flocos grandes, agora comumente chamados *wafers*, adequado para aplicações estruturais e efeitos decorativos (MALONEY, 1993).

Por volta de 1960, iniciou-se uma expansão massiva da indústria de painéis de partículas nos Estados Unidos. Foram desenvolvidas técnicas para produzir painéis com superfícies lisas e as resinas foram melhoradas para atingir tempo de cura rápido na prensa. A difusão nos mercados de miolo para móveis e revestimento de pisos abriu um vasto mercado que foi explorado com sucesso. O tamanho das plantas aumentou de cerca de 100 para 2000 toneladas por dia nas companhias grandes. Foram feitos grandes esforços para levar os painéis de partículas e de fibras para o mercado de painéis estruturais de construção, em uma competição direta com os compensados. Outros painéis de partículas foram usados estruturalmente no mundo (MALONEY, 1993).

O desenvolvimento da indústria de painéis tem sido fenomenal desde a II Guerra Mundial. Diferentes tipos de indústrias de painéis têm sido construídos no mundo, baseados não somente em resíduos de madeira e madeira roliça cortada

especialmente para painéis de partículas, mas também de outros materiais lignocelulósicos como bagaço e linho (MALONEY, 1993).

2.1.7 Processo produtivo de painéis de madeira aglomerada

O processo de produção de painéis de madeira aglomerada envolve as seguintes etapas: geração de partículas, secagem, classificação, aplicação de adesivo e de aditivos químicos, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem a quente, resfriamento, acondicionamento, acabamento, classificação, embalagem e armazenamento (IWAKIRI, 2005).

Os materiais utilizados à obtenção de partículas para produção de painéis aglomerados podem ser de fontes variadas. Em função do grande volume de madeira requerido, as toras provenientes de florestas plantadas consistem na principal base de fornecimento de matéria-prima (IWAKIRI, 2005).

Conforme Maloney (1993) e, ainda, Satipel (2005) e Tafisa (2005) *apud* Chipanski (2006), a primeira fase do processo consiste na geração das partículas, que pode acontecer interna ou externamente à unidade fabril e é feita através de equipamentos como: picadores, moinhos, cepilhadores. A matéria-prima (madeira na forma de toras, maravalha, cavacos, resíduos de madeira, serragem, entre outros) armazenada na planta, deve ser, sempre que possível, segregada por tipo, teor de umidade e espécie. O material fino, de menor granulometria, é armazenado internamente em ambientes protegidos, como silos, para evitar o espalhamento pela ação dos ventos. Os materiais maiores, como toras e cavacos, podem ser armazenados externamente. Depois que as partículas são preparadas, a próxima etapa é a secagem, onde se reduz a umidade do material de 2 a 4%.

Após a secagem, o material é classificado em dimensões pré-determinadas e transportado até os aplicadores, onde se misturam resina, emulsão de parafina, catalisador e água se houver necessidade (CHIPANSKI, 2006).

Depois da aplicação, o material segue para a estação formadora, onde é constituído o bolo ou colchão de partículas. Dependendo do processo, o colchão é compactado na pré-prensa e, posteriormente, segue à prensa quente. Os sistemas de prensagem podem ser: simples abertura, múltipla abertura e contínuo (CHIPANSKI, 2006).

Os sistemas atuais contemplam o uso de prensa contínua. Conforme Maloney (1993) esta tecnologia permite aumento de velocidade da linha, evitando tempos improdutivos de carregamento, descarregamento, fechamento e abertura das prensas convencionais.

Após a prensagem, os painéis são transportados para um sistema de resfriamento antes da estocagem. Os painéis são, então, esquadrejados em dimensões comerciais e seguem para o acabamento, onde são lixados para remoção de imperfeições e nivelamento de superfície (CHIPANSKI, 2006).

A Figura 3 mostra um fluxograma básico do processo produtivo de painéis de madeira aglomerada.

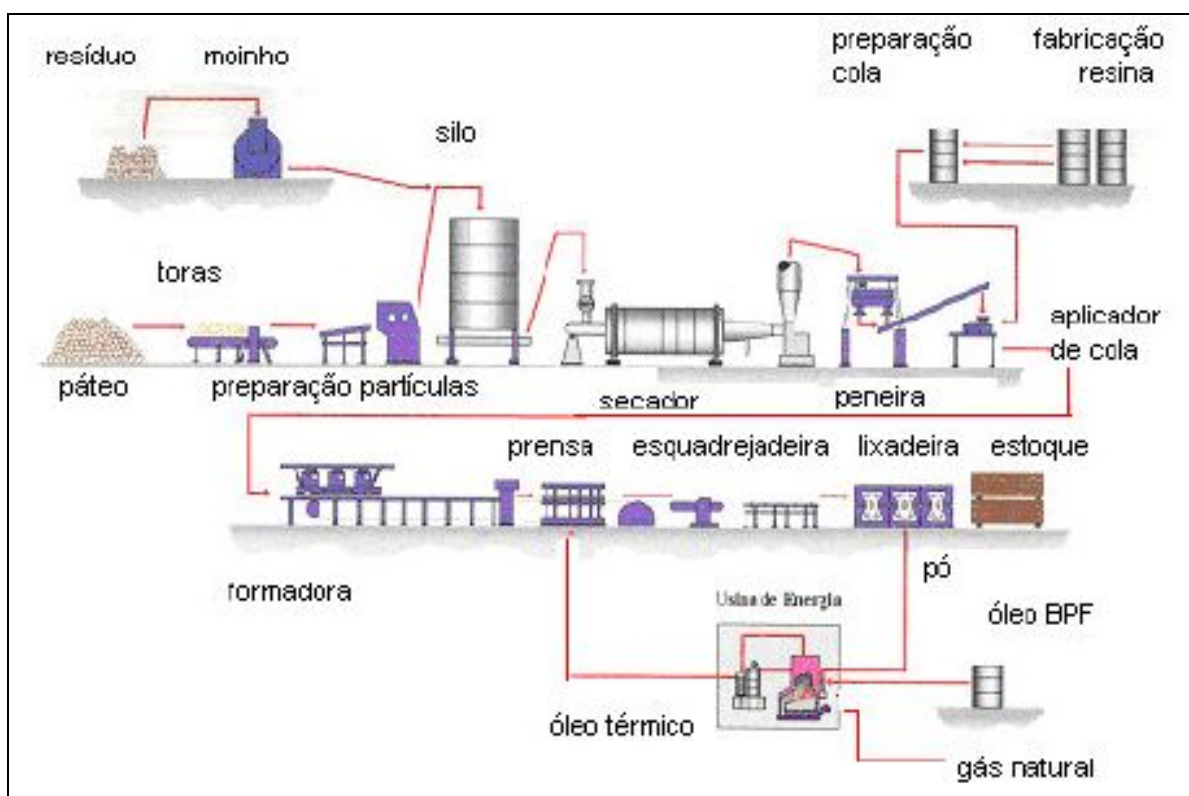


FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

FONTE: PLACAS DO PARANÁ (2001) *apud* CHIPANSKI (2006)

Observa-se, no esquema produtivo da Figura 3, que há entrada de resíduos de madeira no moinho, como cavacos e maravalhas provenientes de indústrias madeireiras, além dos cavacos gerados a partir das toras de Pinus. Os resíduos dos

painéis, como o pó resultante do lixamento destacado no fluxograma, seguem para a usina de energia.

Nas empresas produtoras dos painéis utilizados nesta pesquisa, outros resíduos como retalhos, aparas e cavacos, são geralmente destinados à geração energética.

2.1.8 Variáveis que interferem nas propriedades dos painéis

Na produção de painéis de madeira, inúmeras variáveis interferem nas propriedades do produto final. Dentre elas as principais são a massa específica da madeira, a densidade do painel, a geometria das partículas, o teor de umidade, o tipo e a proporção de resina, o método de formação do colchão e os parâmetros de prensagem (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993; BRITO *et al.*, 2005).

Segundo Maloney (1993), a espécie de madeira a ser utilizada no processo de produção de painéis de madeira aglomerada é de fundamental importância, visto que a mesma pode exercer influências positivas e negativas no produto final. Conforme esse autor, diferentes espécies produzem diferentes tipos de matéria-prima, o que exerce acentuada influência sobre o tipo de partícula a ser produzida no processamento, além de interagir com todas as outras variáveis no processo, determinando as propriedades do painel.

As espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura anatômica. Estas diferenças estruturais podem ser resumidas no arranjo dos tecidos, na ocorrência dos elementos anatômicos em diferentes proporções, nas dimensões dos elementos celulares e na localização dos componentes ao longo do fuste (TSOUMIS, 1991).

Conforme Matos (1988) as espécies exercem influência sobre os parâmetros de prensagem, onde as características anatômicas particulares estão presentes nas partículas submetidas à compressão, o que influi na resistência oferecida à compactação sob as condições de pressão e temperatura.

No Brasil, as espécies mais utilizadas para a produção de painéis de madeira são as do gênero *Pinus*, principalmente o *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii*, amplamente empregados nas matrizes industriais em função das suas excelentes características (IWAKIRI *et al.*, 2002).

a) Massa específica da madeira e dos painéis

Maloney (1993) afirmou que a massa específica é a variável mais importante relativa à espécie, influenciando as propriedades finais. Segundo Moslemi (1974) além de exercer influência sobre as propriedades dos produtos, a massa específica interfere nos parâmetros do processo.

As espécies com massa específica de até $0,55 \text{ g/cm}^3$ são as mais adequadas à produção de painéis de partículas por atingirem uma razão de compactação entre 1,3 e 1,6, considerada a faixa ideal para o processo de densificação e consolidação do painel até a espessura final (MALONEY, 1993).

Partículas de espécies de madeiras mais densas, quando compactadas durante a prensagem, produzem uma baixa razão de compactação, prejudicando as propriedades do painel, necessitando assim, alterar outras variáveis do processamento, como aumentar a proporção de resina, o que aumenta o custo de produção (MENDES, 2001).

Segundo Moslemi (1974), painéis produzidos com espécies de baixa massa específica, apresentam aumento na maioria das propriedades mecânicas. A resistência ao arrancamento de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura são pouco afetados.

A massa específica dos painéis de madeira também exerce considerável influência sobre as propriedades físicas e mecânicas. Segundo Moslemi (1974), Maloney (1993) e Mendes (2001), painéis com maior massa específica apresentam maior resistência mecânica, entretanto a sua estabilidade dimensional é prejudicada. Esses autores atribuem este comportamento à maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, a maior densificação do material durante o processo de prensagem.

Considerando a massa específica da madeira para painéis de uma mesma massa específica, Alberto (1992) relatou que painéis produzidos com espécies de massa específica mais baixa, apresentam maior resistência à flexão estática e a tração perpendicular. No entanto, esse autor mencionou que o arrancamento de parafuso, a absorção de água e o inchamento em espessura são pouco afetados.

A razão de compactação é outro fator importante e representa a relação entre a massa específica da madeira e a massa específica do painel, sendo aceitáveis os valores entre 1,3 e 1,6 para que ocorra um contato adequado entre

partículas de madeira e a formação da ligação adesiva entre elas (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

Segundo Maloney (1993), essa relação define o grau de densificação do material e apresenta considerável reflexo sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Kollmann, Kenzi e Stamm (1975), afirmaram que todas as propriedades dos painéis são afetadas pela razão de compactação, em maior ou menor grau. Uma razão de compactação muito baixa prejudica a colagem e a resistência do painel, afetando a absorção de água por permitir maiores espaços para a sua penetração (HILLIG, 2000; HILLIG, HASELEIN e SANTINI, 2002). Já uma razão de compactação elevada caracteriza maior contato entre partículas e entre partículas e adesivo (KELLY, 1977). No entanto, uma maior razão de compactação do painel, decorrente do uso de madeiras de baixa massa específica, aumenta o inchamento em espessura, prejudicando a estabilidade dimensional dos painéis (MOSLEMI, 1974; TEODORO, 2008). Esta propriedade se destaca em painéis de maior massa específica ou compactação devido a maior quantidade de material lenhoso, resultando na maior liberação de tensões de compressão impostas durante o processo de prensagem (MOSLEMI, 1974).

b) Extrativos

Os extrativos presentes na madeira também podem interferir na produção de painéis. Conforme Goldstein (1991), os extrativos são compostos de óleos voláteis, terpenos, graxas, ésteres, alcoóis, mono e polissacarídeos, alcalóides e compostos aromáticos como, aldeídos, fenil-propano, estilbenos, flavonóides, taninos e quinonas. A presença e a proporção destes compostos é variável entre espécies e alguns são característicos de certas espécies (HIGUCHI, 1997).

Na produção de painéis de madeira, esses compostos também exercem considerável influência. Os extrativos podem afetar as reações de polimerização da resina (LIMA *et al.*, 2007), influenciando na qualidade dos painéis produzido.

Jankowsky (1988) concluiu que madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem. Conforme Moslemi (1974) e Kollmann, Kenzi e Stamm (1975) o elevado teor desses componentes pode reduzir consideravelmente

a resistência à adesão interna, no entanto, pode também proporcionar um relativo aumento na resistência a umidade.

c) pH

Segundo Albin (1975) o pH é outra variável importante na produção de painéis. Em termos de processamento e aproveitamento da madeira, o pH influi na fixação de preservantes químicos, na aplicação de tintas e vernizes e na cura de resinas.

Uma madeira de alta acidez pode provocar a pré-cura da resina ureia-formaldeído, que cura em meio ácido, durante a prensagem dos painéis, comprometendo a qualidade de colagem entre partículas (IWAKIRI, 2005).

d) Geometria das partículas

A geometria das partículas, que se refere ao tamanho e tipo da partícula e a direção da grã em relação ao eixo longitudinal (MALONEY, 1976), também pode influenciar na produção de painéis.

Características importantes derivam da geometria das partículas, sendo elas: o índice de esbeltez, a razão de planicidade e a área superficial específica (MALONEY, 1976).

O índice de esbeltez é um parâmetro importante e exerce influência sobre as características do painel, como por exemplo, a área de contato entre as partículas, as propriedades mecânicas e o consumo de resina. Já a razão de planicidade está estreitamente ligada ao volume relativo de ar do colchão e a área superficial específica também se relaciona com o consumo de resina (ALBERTO, 1992).

Segundo Maloney (1989) a resistência à flexão, a resistência à tração paralela e perpendicular à superfície e ao arrancamento de parafusos e pregos são influenciadas pelo tamanho das partículas que, além disso, influenciam a absorção de água e de outros líquidos, causando alteração na estabilidade dimensional e modificações superficiais nos painéis.

Partículas longas e finas resultam em maior índice de esbeltez e produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional (VITAL, HASELEIN e DELLA LUCIA, 1992). Iwakiri (2005) complementou que o

índice de esbeltez, além de influenciar as propriedades mecânicas e dimensionais, exerce influência sobre a qualidade de acabamento e usinabilidade.

Industrialmente, são utilizadas partículas de dimensões maiores na camada interna e partículas menores, ou finos, na camada externa. A utilização de finos na superfície confere melhor acabamento superficial ao painel, visando principalmente melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimento (IWAKIRI *et al.*, 2005). Por outro lado, um elevado percentual de finos aumenta o consumo de resina e prejudica a qualidade dos painéis, reduzindo a adesão interna entre as camadas interna e externa do painel (JAGGER, 1992).

Já painéis fabricados com partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular ou adesão interna (VITAL, HASELEIN e DELLA LUCIA, 1992).

Considerando exclusivamente o tamanho das partículas, Moslemi (1974) e Maloney (1993) afirmaram que partículas menores, devido à maior área superficial requerem maior consumo de resina. Partículas maiores apresentam menor área superficial e, conseqüentemente, maior é a disponibilidade de resina.

Matos (1988) evidenciou a importância da geometria das partículas no processo, mencionando que este fator representa uma função particular, permitindo ou dificultando a transferência de calor através da espessura do painel submetido à prensagem.

e) Teor de umidade

O teor de umidade das partículas se constitui numa variável de extrema importância para a produção de painéis de madeira aglomerada. Segundo Iwakiri (1989) e Albuquerque (2002), é um fator crítico e decisivo no desenvolvimento do gradiente vertical de densidade, assim como no tempo de prensagem.

A importância do teor de umidade das partículas durante o ciclo de prensagem deve-se a influência que este exerce sobre a resistência da madeira para compressão. A umidade juntamente com a temperatura proporciona uma maior plasticização da madeira que oferecerá menor resistência à compactação, além de favorecer a transferência de calor desde a superfície até o miolo (MATOS, 1988). Teores de umidade elevados tornam as partículas mais flexíveis, requerendo um menor tempo para atingir uma determinada espessura. Entretanto, a umidade em

excesso requer um tempo maior de prensagem, devido ao efeito retardante na cura da resina (MOSLEMI, 1974; MATOS, 1988; ALBUQUERQUE, 2002). Além disso, partículas com teor de umidade elevado podem causar bolsas de vapor na camada interna do painel, durante o processo de prensagem (KOLLMANN, KENZI e STAMM, 1975; TSOUMIS, 1991).

Conforme Kollmann, Kenzi e Stamm (1975) as partículas demasiadamente secas podem causar outros problemas, como por exemplo, riscos de incêndio em secadores, descargas eletrostáticas em tubulações, aumento do pó na indústria e painéis com bordas deficientes.

O teor de umidade das partículas utilizadas para a produção de painéis aglomerados varia entre 3 e 6% (MOSLEMI, 1974; KOLLMANN, KENZI e STAMM, 1975; IWAKIRI, 1989; TSOUMIS, 1991; VITAL, HASELEIN e DELLA LUCIA, 1992; MALONEY, 1993).

f) Resina

O efeito do tipo e da quantidade de resina sobre a composição dos painéis de madeira é bastante significativo. O aumento do teor de resina causa um incremento nas propriedades mecânicas e na estabilidade dimensional (MOSLEMI, 1974; BRITO, 1984; MATOS, 1988; IWAKIRI, 1989; ALBERTO, 1992; MENDES, 2001; ALBUQUERQUE, 2002; TEODORO, 2008; SANTOS *et al.*, 2009).

Este fato, segundo Iwakiri (1989) e Mendes (2001), é devido a uma maior disponibilidade de resina por área superficial de partículas, melhorando, com isto, as ligações interpartículas. Acima de um determinado nível de resina ocorre o recobrimento da partícula, porém o aumento do teor de resina não atua na melhoria da ligação entre as partículas (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974).

O método de aplicação e distribuição da resina é um importante fator que atua sobre a sua eficiência (LEHMANN, 1965). Tanto a adesão interna quanto o módulo de ruptura de painéis reconstituídos dependem da distribuição da resina (SCHWARTZ, ANDERSON e KADGER, 1968).

De acordo com Marra (1992) os principais tipos de resina utilizados pelas indústrias de painéis de madeira reconstituída são a ureia-formaldeído (UF) e a fenol-formaldeído (FF). Kelly (1977) e Moslemi (1974) afirmaram que a escolha do tipo de resina está condicionada as condições de uso do produto final.

g) Parafina

A parafina é adicionada no processo produtivo de painéis de partículas com a finalidade de aumentar a resistência à umidade e reduzir o inchamento em espessura, e consequentemente proporcionar maior estabilidade dimensional (HEEBINK, 1967; CRAIGHEAD, 1991). Isso ocorre devido ao fato de que a parafina reduz a higroscopicidade e forma uma película de proteção nas partículas (IWAKIRI, 2005).

Diversos estudos indicam a adição de 1% de sólidos de parafina ao painel, com base no peso seco de partículas (MATOS, 1988; GOUVEIA, VITAL e SANTANA, 2003; BATISTA *et al.*, 2007).

h) Parâmetros de prensagem

Conforme Matos e Keinert Jr. (1988), muitas variáveis estão envolvidas no processo de produção de painéis de partículas, especialmente no momento da prensagem. O processo de prensagem é considerado a etapa mais crítica para a determinação na produção do painel (CAI *et al.*, 2009). Segundo Matos (1988), é muito importante, pois regula o fluxo de produção e o consumo de energia.

Durante a prensagem diversos fatores interagem, onde os principais são: o tempo, a temperatura, a pressão, a velocidade de fechamento da prensa e o teor de umidade do colchão (MOSLEMI, 1974; KOLLMANN, KENZI e STAMM, 1975; MATOS, 1988; IWAKIRI, 1989; MALONEY, 1993; WANG e WINISTORFER, 2000).

O tempo de prensagem é o tempo decorrido entre o momento da consolidação do colchão de partículas em sua espessura final, até o momento de abertura dos pratos da prensa (MATOS, 1988; IWAKIRI, 1989).

De acordo com Marra (1992), o tempo de prensagem deve ser suficiente para que o interior do painel alcance a temperatura necessária para a polimerização da resina. Além disso, o tempo de prensagem exerce influências significativas sobre as propriedades dos painéis, controle de espessura, qualidade de superfície e pré-cura.

O tempo de prensagem, segundo Iwakiri (2005), depende principalmente da eficiência da transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura, da

distribuição da umidade no colchão, e industrialmente pode ser definido em torno de 6 a 12 segundos por mm de espessura do painel.

A temperatura de prensagem interfere nos painéis e sua principal função durante o processo de prensagem é acelerar a polimerização da resina distribuída entre as partículas (MATOS, 1988).

Nesta etapa ocorre a densificação do material por um processo mecânico de deformação até a espessura final, um aquecimento do material e, conseqüentemente, um processo químico que conduz a cura da resina (MALONEY, 1993).

A temperatura de prensagem é definida em função do tipo de resina utilizada (KELLY, 1977; MARRA, 1992; IWAKIRI, 2005). A taxa de transferência de calor ocorre das camadas superficiais para o centro do painel, onde nos primeiros instantes de prensagem, ocorre a formação de vapor nas faces do colchão, plasticizando a madeira e facilitando sua compressão. Enquanto isso, o centro do painel encontra-se frio, resistindo à compressão. Quando o centro atinge a temperatura que permitiria uma maior compactação, o painel já atingiu a espessura desejada, não sendo mais compactado (ELEOTÉRIO, 2000).

Normalmente, quanto maior a temperatura, menor é o tempo de prensagem e em consequência disso, maior é a produtividade de uma unidade fabril (IWAKIRI, 2005).

A aplicação de uma pressão mínima é necessária para a densificação do colchão até a espessura final do painel e também para assegurar um contato superficial adequado entre as partículas de madeira (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974). Segundo Kelly (1977) a influência da pressão sobre as propriedades dos painéis diz respeito ao gradiente vertical de densidade.

Matos (1988) e Eleotério (2000) descreveram que o aumento da umidade do colchão aumenta o tempo de prensagem, entretanto proporciona redução da pressão específica necessária, uma vez que a água se vaporiza durante a prensagem a quente, tornando as fibras plásticas.

2.2 RESÍDUOS DA CADEIA PRODUTIVA DE PAINÉIS E DA INDÚSTRIA MOVELEIRA

Os resíduos de madeira, resultantes em todas as fases do processo produtivo, são considerados subprodutos e, via de regra, não são descartados no processo industrial ao longo da cadeia produtiva. O setor industrial atual, não somente o de base florestal, preza pelo aproveitamento de resíduos, reintegrando-os ao processo produtivo, o que aumenta os rendimentos industriais e reduz os impactos ou potenciais passivos ambientais (ABRAF, 2010).

Os resíduos sólidos gerados pela cadeia produtiva madeireira são provenientes, em sua maioria, das operações de usinagem da madeira ou da fabricação e usinagem de seus derivados. Dessa forma, em diversas etapas do processamento da madeira, desde o abate da árvore até a operação de lixamento de qualquer peça de um móvel, são gerados resíduos em diferentes proporções e com diferentes características (HILLIG & SCHNEIDER, 2006).

A caracterização dos resíduos sólidos da indústria moveleira e da indústria de base florestal torna-se uma tarefa complicada, pois depende do tipo de processo empregado, do tipo de matéria-prima utilizado e do produto final obtido. As combinações possíveis dessas variáveis resultam numa variada gama de tipos e dimensões de resíduos, os quais apresentam características distintas. Por outro lado, proporcionam diversas opções de intervenção e mudanças nos processos, com o objetivo de otimizar a produtividade e diminuir a sua geração (HILLIG & SCHNEIDER, 2006).

A indústria moveleira depende de fornecedores como a indústria siderúrgica, fornecedora de metais para móveis; a indústria química, fornecedora de colas, tintas, PVC, vernizes e vidro; a indústria de couro; a indústria têxtil e a indústria responsável pelo processamento da madeira. Desses grupos, entretanto, o do processamento mecânico da madeira fornece a parcela mais significativa de insumos que acabará por gerar resíduos sólidos (HILLIG & SCHNEIDER, 2006).

Para exemplificar, segundo o levantamento realizado por Hillig, Schneider e Pavoni (2004), a maior parte da produção moveleira do Estado do Rio Grande do Sul se concentra em quatro municípios: Bento Gonçalves, Caxias do Sul, Flores da Cunha e Lagoa Vermelha. O diagnóstico abrangeu 30% da produção estadual do setor.

O tipo de matéria-prima é muito variável nas indústrias que fizeram parte do diagnóstico, podendo ser de madeira, MDF ou aglomerado. Em função do tipo de matéria-prima usado, o aproveitamento no processo produtivo é bastante variável. Os dados obtidos para a Serra Gaúcha são apresentados na Tabela 1. No caso da madeira, o aproveitamento fica em 66,5%, sendo que para os outros tipos de material (MDF, aglomerado e compensado) o aproveitamento fica em torno de 94%. Em termos de valores globais, a produção com MDF e aglomerado representa 78,4% de toda a matéria-prima utilizada. Assim, a geração de resíduo vai depender muito do tipo de matéria-prima e do grau de aproveitamento no processo produtivo (HILLIG, SCHNEIDER E PAVONI, 2004).

TABELA 1 - MATÉRIA-PRIMA, MADEIRA E DERIVADOS CONSUMIDOS MENSALMENTE PELAS EMPRESAS AMOSTRADAS E MÉDIAS PROPORCIONAIS DE APROVEITAMENTO

Município	N ¹	Madeira (m ³)	Aprov. (%)	MDF (m ³)	Aprov. (%)	Aglom. (m ³)	Aprov. (%)	Comp. (m ³)	Aprov. (%)	Total ² (m ³)
Bento Gonçalves	27	2.057,0	68,18	5.029,5	94,99	19.504,5	93,59	319,4	94,98	26.910,4
Caxias do Sul	35	2.144,3	63,89	217,5	91,49	236,0	94,69	2.497,5	93,82	5.025,3
Flores da Cunha	14	2.766,5	63,05	2.110,3	92,55	1.621,7	91,36	46,8	89,55	6.542,8
Lagoa Vermelha	18	538,0	88,38	4.541,8	94,51	4.276,5	94,90	30,5	92,38	9.386,8
TOTAIS	94	7.505,8	66,51	11.899,1	94,31	25.638,7	93,68	2.894,2	93,86	47.865,3

NOTAS: ¹ Empresas visitadas. ² Total de matéria-prima consumida.

FONTE: HILLIG, SCHNEIDER e PAVONI (2004)

A estimativa da quantidade e do tipo de resíduo gerado por tipo de matéria-prima utilizada é mostrada na Tabela 2.

TABELA 2 - ESTIMATIVA DOS VOLUMES MENSAIS DE RESÍDUOS GERADOS POR CLASSE DE MATÉRIA-PRIMA E POR MUNICÍPIO NAS EMPRESAS VISITADAS (UNIDADES EM M³)

MUNICÍPIO	MADEIRA			MDF			AGLOMERADO		COMPENSADO	
	S	M	R	S	M	R	S	R	S	R
Bento Gonçalves	771	93	736	297	38	283	1.472	1.407	19	18
Caxias do Sul	392	156	154	9	3	4	6	2	78	31
Flores da Cunha	2.022	3.385	463	311	551	71	277	63	10	2
Lagoa Vermelha	58	170	25	232	681	100	203	87	2	1
Totais	3.243	3.804	1.378	849	1.273	458	1.958	1.559	109	52

NOTAS: S – serragem = volume gerado de serragem a granel. M – maravalha = volume gerado de maravalha a granel. R – retalho = volume gerado de retalhos a granel.

FONTE: HILLIG, SCHNEIDER E PAVONI (2004)

Na Tabela 2 pode ser visualizado que o volume de 7.155 m³/mês de resíduos de madeira e derivados gerado na amostra de Flores da Cunha, que representa cerca de 6% da produção estadual, é superior ao volume de resíduos gerado em Bento Gonçalves, onde a amostra abrangeu 18% da produção estadual, conforme relato dos autores Hillig, Schneider e Pavoni (2004). Esse fato deve-se à utilização de maior quantidade de madeira serrada nas indústrias de Flores da Cunha. Essas matérias-primas apresentam maior perda de processamento do que os painéis de madeira, que são usados, preferencialmente, no polo de Bento Gonçalves. Outros fatores a considerar referem-se à utilização de máquinas mais modernas e ao tipo de produto fabricado. Em Bento Gonçalves, predominam móveis retilíneos seriados, que permitem maior volume de produção e menor perda no processamento (HILLIG, SCHNEIDER E PAVONI, 2004).

2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À INDÚSTRIA MADEIREIRA

Um importante indicador de sustentabilidade que influencia diretamente na classificação dos materiais em relação ao impacto ao meio ambiente é a quantidade de resíduos sólidos produzidos em seu processo de transformação, considerada a capacidade de reutilização e reciclagem do mesmo, no final do processo de

produção ou em cada uma das etapas da cadeia produtiva (BARBOSA, 2001 *apud* FAGUNDES, 2003).

Segundo Bonduelle *et al.* (2002), estudos apontavam que a cada quatro árvores abatidas nos Estados Unidos, na década de 50, o equivalente a menos de uma chegava ao consumidor sob forma de utilidades: todo o resto se perdia. A justificativa apresentada era que a América não precisava aproveitar todos os pedaços do tronco da árvore, pois ainda havia muita floresta inexplorada. Hoje o panorama é bem diferente. Os norte-americanos chegam a ter um aproveitamento superior a 90% a partir da tora.

O setor de processamento mecânico da madeira, inclusive as indústrias moveleiras, pouco tem investido na gestão de resíduos. Isso se deve em parte à facilidade de obtenção de matéria-prima e de seu baixo custo; à ideia errônea de que a madeira é um recurso renovável, portanto, inesgotável; ao grande número de micro e pequenas empresas que atuam no setor, com baixa capacidade de investimento em capacitação e melhoria tecnológica; e a outro conceito inadequado disseminado no setor: de que o resíduo madeireiro não é perigoso, podendo ser descartado de qualquer maneira. A mudança de visão no setor é fundamental para a sustentabilidade da cadeia produtiva móvel-madeira (ULIANA, 2005).

O desenvolvimento das chapas de partículas tem revolucionado a industrialização da madeira ao aumentar consideravelmente o rendimento da matéria-prima. Embora possam ser encontrados vestígios das chapas na cultura egípcia, há 3 mil anos, sua aparição de forma generalizada ocorreu apenas há um século, por duas razões: uma para conseguir superfícies largas, cada vez mais difíceis de serem encontradas na madeira maciça; e outra para buscar uma maior homogeneidade do produto (VIGNOTE & JIMÉNEZ, 1996).

A indústria de painéis de madeira é de relevante importância para a economia brasileira, não só pela geração de divisas e empregos, como também pelo dinamismo que irradia, especialmente para os setores moveleiro e de construção civil (MACEDO & ROQUE, 2008).

As perspectivas vislumbradas para o mercado mundial de produtos florestais, nos próximos 10 anos, apontam para a mudança do eixo de produção do hemisfério norte para o sul, induzindo o reposicionamento das empresas que atuam de forma globalizada neste mercado (MACEDO & ROQUE, 2008).

Um dos principais fatores motivadores de tal reposicionamento tem sido as restrições de natureza ambiental. As empresas são crescentemente pressionadas a deixar de comercializar produtos e/ou utilizar processos que representem elevadas perdas de recursos florestais, caminhando para uma operação ambientalmente sustentável (MACEDO & ROQUE, 2008).

2.4 GESTÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE PAINÉIS

Sob o ponto de vista do processo produtivo há de se considerar, na indústria de painéis de madeira aglomerada, a geração de resíduos e as emissões. Os resíduos mais importantes são os resíduos sólidos de madeira, cujo correto gerenciamento evita a poluição do solo, rios e até mesmo atmosférica, além de possibilitar retorno financeiro na medida em que podem ser reaproveitados. Quanto às emissões atmosféricas estas se manifestam basicamente em dois pontos do processo produtivo: na liberação dos gases de combustão durante a secagem da madeira e na liberação dos gases, na etapa da prensagem dos painéis. As emissões correspondem basicamente a material particulado, gases de combustão propriamente ditos e VOCs (compostos orgânicos voláteis). Estas emissões têm relação direta com o chamado efeito estufa, destruição da camada de ozônio, além de causar danos à saúde humana. Ainda com relação ao processo de fabricação, a utilização de combustíveis é outro fator importante, já que a matriz energética contempla a utilização expressiva de energia de fontes não renováveis. Neste sentido, a aplicabilidade do uso da biomassa deve ser analisada, até porque é gerada no próprio processo produtivo (CHIPANSKI, 2006).

Considerando, portanto, a relevância da indústria de painéis de madeira aglomerada no cenário econômico do Brasil, bem como a criticidade da questão ambiental para este segmento, há necessidade do entendimento da questão ambiental como um todo, contemplando a inter-relação indústria e meio ambiente, suas consequências, que são os impactos ambientais advindos desta inter-relação e possíveis medidas mitigadoras desses impactos ambientais. Algumas características desta indústria fazem com que a questão ambiental seja relevante e mereça atenção (CHIPANSKI, 2006).

Sob o ponto de vista das matérias-primas dois aspectos são relevantes. O primeiro é a utilização da madeira, que responde por mais de 80% do produto final (CHIPANSKI, 2006).

Em geral, a madeira oriunda de florestas plantadas vem apresentando déficit e representa uma preocupação ambiental, na medida em que é um recurso escasso e uma preocupação econômica, pois está cada vez mais valorizada. Portanto, a busca por alternativas para substituição desta matéria-prima por outras, sem que comprometa a qualidade final do painel, é um desafio a ser vencido.

O segundo aspecto diz respeito à utilização de resinas sintéticas, outra matéria-prima importante, cuja finalidade é aglutinar e colar as partículas de madeira conferindo resistência e sustentação ao painel. A resina mais utilizada é do tipo ureia-fomol, sendo encontradas também fenol-formol e melamina-formol. Estas resinas são oriundas de matéria-prima fóssil como o gás natural e óleo cru, que se constituem, portanto, em fontes não renováveis, representando também uma preocupação ambiental a seus usuários (CHIPANSKI, 2006).

2.4.1 Geração de resíduos sólidos

Em função da característica da matéria-prima utilizada (madeira), e do próprio processo de fabricação que envolve a transformação da madeira em cavacos e posteriormente em material de menor granulometria, com consequente transporte deste material ao longo do processo produtivo, a geração de resíduos sólidos é um aspecto ambiental importante na indústria de painéis de partículas, cujo impacto associado é a poluição. Predomina a geração de resíduos sólidos madeiráveis, oriundos do próprio processo produtivo (CHIPANSKI, 2006).

Todo processo de transformação da madeira gera resíduos, em menor ou maior quantidade, sendo que somente 40 a 60% do volume total da tora é aproveitado, o restante tornam-se resíduos. Estes dados podem ser confirmados de acordo com os dados levantados por Fontes (1994) e Olandoski (2001), com base na Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura – FAO, e apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - RENDIMENTOS OBTIDOS APÓS BENEFICIAMENTO

VOLUME DE 1m³	EQUIVALENTE EM TORÁ (1m³)	APROVEITAMENTO (%)
Madeira serrada de conífera	1,67	59,8
Madeira serrada de folhosa	1,82	54,9
Painel compensado	2,30	43,5
Laminado	1,90	52,6

FONTE: FONTES (1994) e OLANDOSKI (2001)

Conforme a empresa Placas do Paraná (2005) *apud* Chipanski (2006), para a fabricação de painéis de madeira aglomerada o aproveitamento da árvore é de 80%.

Os resíduos de madeira predominantes, originados nas indústrias de painéis reconstituídos e de painéis compensados, podem ser assim classificados:

a) sobras: peças processadas e acabadas, apresentando boa qualidade técnica e comercial, mas que não foram usadas nos produtos finais (TEIXEIRA, 2005).

b) rolo-resto: resultante do processo de laminação da tora, na indústria de painéis compensados.

c) retalhos: resultantes do processo de esquadrejamento dos painéis de madeira.

d) rejeito: peças que ao sofrer o processamento, ficaram abaixo dos padrões técnicos ou comerciais, geralmente por apresentarem defeitos de qualidade (TEIXEIRA, 2005).

e) pó de lixamento: proveniente do processo de lixamento na fase de acabamento de uma peça de madeira. Apresenta-se como um pó muito fino, cuja partícula varia de acordo com o número da aspereza da lixa (TEIXEIRA, 2005).

2.4.2 Impactos ambientais dos resíduos sólidos

Conforme Motta (1996), a geração de resíduos sólidos é também um dos principais problemas ambientais. Os resíduos não coletados compõem a carga poluidora que escorre pelas águas pluviais (*run-off*) urbanas e rurais. Os resíduos coletados e com disposição inadequada em aterros ou a céu aberto e em áreas alagadas gera problemas sanitários e de contaminação hídrica em tais locais. Quando se trata de carga tóxica, geralmente de origem industrial e agrícola, as consequências ambientais na saúde humana e na preservação da fauna e flora são mais significativas.

Conforme Brand *et al.* (2002), o aumento progressivo da quantidade da madeira desdobrada tem revelado problemas como o crescimento do consumo da matéria-prima madeira, em um momento que o mercado apresenta diminuição de oferta da mesma, além da disponibilização de quantidades ainda maiores de resíduos, que muitas vezes não tem utilização na indústria onde os mesmos foram gerados. Aliado a isto a disponibilização dos resíduos sem uma destinação adequada gera graves problemas ambientais como o assoreamento e poluição dos rios, poluição do ar devido à queima para eliminação dos mesmos, utilização de áreas para armazenamento deste material que poderiam ser destinadas para outros fins e o desperdício da matéria-prima que entra na indústria.

2.4.3 Alternativas e soluções tecnológicas mitigadoras

Conforme Brand *et al.* (2002), a forma mais adequada para conhecer e solucionar os problemas ambientais causados pelos resíduos passa pela caracterização do rendimento produtivo das indústrias, do volume e tipos de resíduos existentes, da sazonalidade de geração dos mesmos, além dos possíveis usos que podem ser dados a este material. Propõe também a análise de cada fase do processo produtivo, incluindo a realização do balanço de massa e avaliação do rendimento, onde é possível diagnosticar todas as entradas e saídas do processo tendo como resposta a correlação entre quantidades de produtos fabricados e resíduos gerados.

Existem diversas aplicações que podem ser dadas aos resíduos de madeira, dependendo muito do tipo. Essas aplicações podem ser: geração energética,

produção de painéis de madeira, celulose para papel, cargas para materiais poliméricos e cimento, fabricação de pequenos objetos, embalagens, cama para animais, entre outros (BRAND *et al.*, 2002).

Smith (2004), cita o estudo realizado pela CPA (*Composite Panel Association*) em 2002, no qual caracteriza-se em uma visão geral, a geração de resíduos sólidos e as práticas comuns de disposição e reciclagem das indústrias de chapas de composição (chapas de aglomerado, MDF e chapa dura) nos Estados Unidos e Canadá. Painéis OSB e compensado não foram incluídos no estudo.

Segundo o autor, o interesse em reciclagem de madeira parece que teve seu auge na década de 90 e vem declinando. Muitas das referências sobre o assunto são de 1995 a 1999. Discussões com especialistas indicam que os subsídios para suportar atividades de reciclagem e resíduos de diversas naturezas nos Estados Unidos, diminuiram.

Na Europa, o interesse por este tipo de atividade é maior. A legislação ambiental europeia e o limitado suprimento de madeira têm motivado o desenvolvimento de tecnologias para processar móveis velhos e utilizar como matéria-prima de chapas de aglomerado e MDF. Algumas plantas novas consideram a cogeração de energia e tem estabelecido contratos com os fabricantes secundários (processadores das chapas de aglomerado e MDF), para receber o rejeito de madeira destes fabricantes e utilizar como energia. Esta tendência na Europa é crescente, uma vez que a disposição de materiais com poder combustível em aterros está se tornando restrita (SMITH, 2004).

Na América do Norte as indústrias de chapas de composição têm feito um bom trabalho quanto a reciclagem interna. As plantas possuem equipamentos para minimizar a geração de resíduos e gerenciar o que eles mesmos produzem. Da madeira que entra na planta, 90% se converte em produto e o restante em combustível utilizado no próprio processo ou fora, em plantas de energia. Alguns rejeitos de placas são usados para embalagem dos próprios painéis. As atividades de reciclagem externa se limitam a 2% dos resíduos gerados. Algumas plantas são proibidas de enviar os resíduos para o aterro, mas uma média deste tipo de disposição situa-se em 3 toneladas por planta (SMITH, 2004).

No trabalho realizado por Smith (2004) também encontra-se o tipo de resíduo gerado e a disposição. A Tabela 4 mostra que uma planta de chapas típica norte americana, gera cerca de 112 toneladas de resíduos por dia.

TABELA 4 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM PLANTA DE CHAPAS DE COMPOSIÇÃO

TIPO DE RESÍDUO	GERAÇÃO MÉDIA DE RESÍDUO (ton/dia/planta)	USO DE RESÍDUO (%)					
		Reciclagem (na chapa)	Combustível interno	Combustível externo	Aterro	Reciclagem	Embalagem
Limpeza, rejeitos	6,8	17,7	21,9	29,3	22,2	9	0
Rejeito e aparas de bolo	29,7	95,2	2,4	0,2	2,2	0	0
Rejeito chapas	7,1	55,4	21,1	3,8	3,7	2,5	13,6
Corte das chapas	25,1	70,3	25,5	4,6	0	0	0,9
Pó de lixamento	43,6	25,5	64,9	7	0,3	2,2	0
Total	112,3	62,2	38,4	6,5	2,6	1,7	1,2
Ton/dia/planta							
Porcentagem	100%	55,4 %	34,2%	5,8%	2,3%	1,6%	1,1 %

FONTE: SMITH (2004)

A Figura 4 mostra a utilização dos resíduos numa planta típica norte americana.

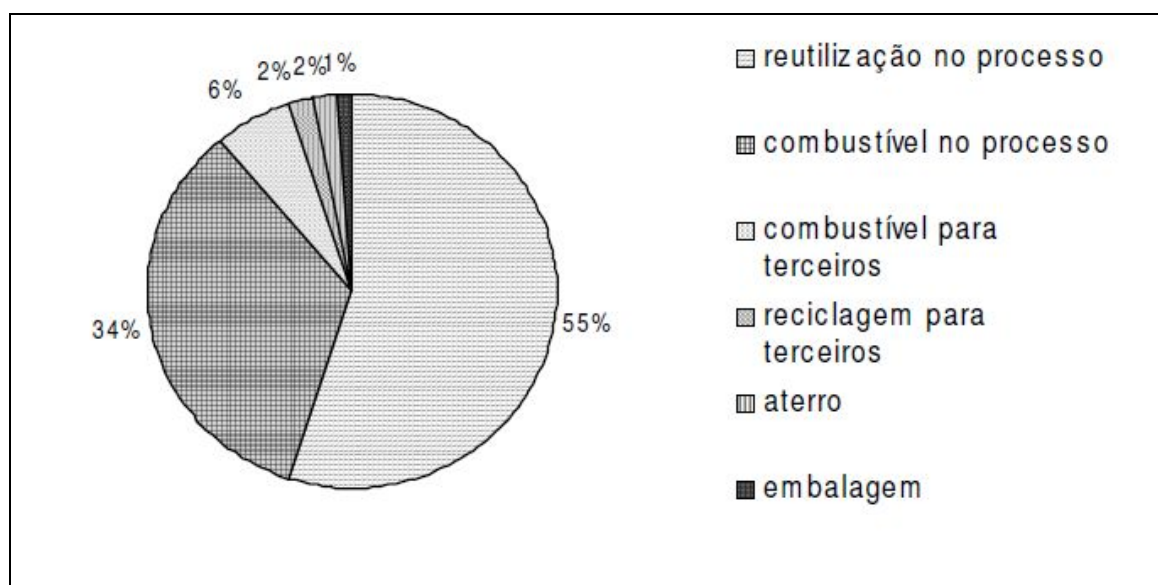


FIGURA 4 - UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS EM PLANTA NORTE AMERICANA

FONTE: SMITH (2004)

Mais de um terço do resíduo gerado é na forma de pó. Enquanto muitas plantas queimam, algumas têm restrição ambiental devido a emissão de particulados e de óxidos de nitrogênio. Na média, 65% do pó de lixamento é usado como

combustível nos secadores e aquecedores. A maior parte do restante é utilizada novamente para a fabricação das chapas. O pó de lixamento é um material de difícil manuseio e requer equipamentos especiais para carregamento e descarregamento, para evitar perdas. Portanto embora sendo um excelente combustível, menos de 10% do pó gerado é transportado para fora das plantas. Os rejeitos e aparas do bolo são a segunda maior categoria de resíduos. Quase todo o material não prensado retorna para fazer parte do material da camada interna das chapas, mas uma pequena quantidade é queimada ou disposta em aterros. Materiais do corte das chapas e do esquadrejamento geram 25 ton/dia, sendo 70% reciclada para fabricação das chapas e o restante é queimado. Rejeitos de chapas se originam de chapas delaminadas, abertas, ou de qualidade inferior. Muitas plantas possuem equipamentos para quebrar as chapas e então utilizar o material como combustível, ou recircular no processo de fabricação das chapas. Uma quantia significativa é utilizada para calços nos pacotes das chapas (SMITH, 2004).

O material mais difícil de trabalhar é o material de limpeza do chão e material descarregado das válvulas quando ocorre o reinício da linha pós-parada e situações de emergência. Cerca de 22% deste material é utilizado como combustível fora da planta, 18% é recirculado no próprio processo de fabricação das chapas e cerca de 22% é disposto em aterros (SMITH, 2004).

Em linhas gerais, a estratégia mais popular para mitigação dos impactos ambientais na indústria de chapas de partículas causados pelos resíduos é utilizá-los para fabricação das próprias chapas. Cerca de 1/3 é usado como combustível nos secadores e aquecedores. Menos de 10% são transportados para fora da planta, para ser usado com finalidade energética. Outros 2,5% são dispostos em aterros e 1,5% são direcionados para outros tipos de reciclagem (SMITH, 2004).

2.5 ASPECTOS LEGAIS PARA RESÍDUOS SÓLIDOS

Recentemente foi sancionada pelo governo federal a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, dispondo sobre princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL/MMA, 2010).

Ainda com relação aos resíduos sólidos existem várias normas publicadas pela ABNT, que adquirem caráter de obrigatoriedade na medida em que as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA indicam tais parâmetros, a serem seguidos pelo gerador.

No âmbito dos resíduos sólidos, devem ser observadas também as legislações estaduais e municipais que tratam do transporte, condicionamento, reaproveitamento, entre outros.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram obtidos em empresas fabricantes de painéis de madeira, na região metropolitana de Curitiba, no Estado do Paraná.

Os resíduos de painéis compensados, MDF e MDP, todos compostos por madeira de *Pinus* spp., são gerados no processo de esquadrejamento e em danos sofridos pelos painéis antes da expedição, desclassificando-os à venda (Figura 5). O destino atual deste material nas indústrias é a geração energética.





FIGURA 5 - RETALHOS DESCARTADOS NO PROCESSO PRODUTIVO DOS PAINÉIS DE MADEIRA. A E B: MDF E MDP MISTURADOS; C E D: COMPENSADOS

Os resíduos dos painéis foram processados nos picadores das indústrias fornecedoras, antes de serem transportados à UFPR, e apresentavam formatos conforme representado na Figura 6.

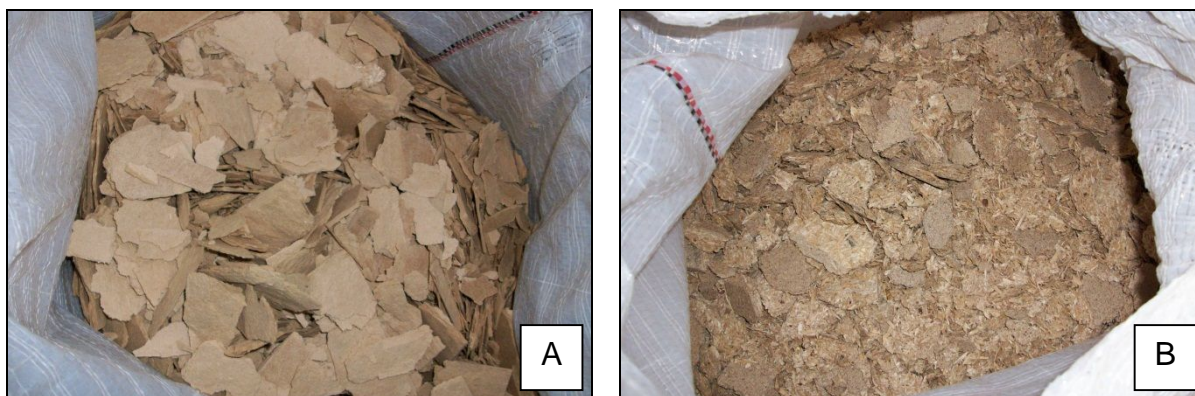




FIGURA 6 - RESÍDUOS PICADOS PELAS INDÚSTRIAS FORNECEDORAS. A: MDF; B: MDP; C: COMPENSADO

Após a coleta nas indústrias, a matéria-prima foi encaminhada ao Laboratório de Painéis de Madeira do Centro de Ciências Florestais e da Madeira (CIFLOMA) da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Geração de partículas

Os resíduos provenientes das indústrias foram processados em moinho de martelos, onde passaram por peneiras com três diferentes tamanhos de malhas, 18, 12 e 6 mm, para gerar as partículas adequadas à produção dos painéis de madeira aglomerada. Em seguida, as partículas geradas a partir dos resíduos de painéis MDP e de painéis compensados foram passadas em um classificador de peneira, com malha de 0,6 mm, para a retirada de finos (Figura 7-D). As partículas geradas a partir de resíduos de painéis MDF não passaram pelo classificador de peneira, pois praticamente retornaram ao estágio de fibras com o processamento no moinho de martelos, inviabilizando a retirada dos finos desse material.

A Figura 7 apresenta o moinho de martelos e as peneiras utilizadas no processamento das partículas. O classificador de peneira também é representado nesta figura.



FIGURA 7 - MOINHO DE MARTELOS (A), PENEIRAS UTILIZADAS NO MOINHO (B), PARTE INTERNA DO MOINHO DE MARTELOS (C) E CLASSIFICADOR DE PENEIRA UTILIZADO PARA RETIRADA DE FINOS DAS PARTÍCULAS (D)

A Figura 8 apresenta as imagens dos resíduos picados, na forma como foram recebidos na UFPR, associadas ao aspecto dos resíduos processados no moinho de martelos, no Laboratório de Painéis de Madeira da universidade.

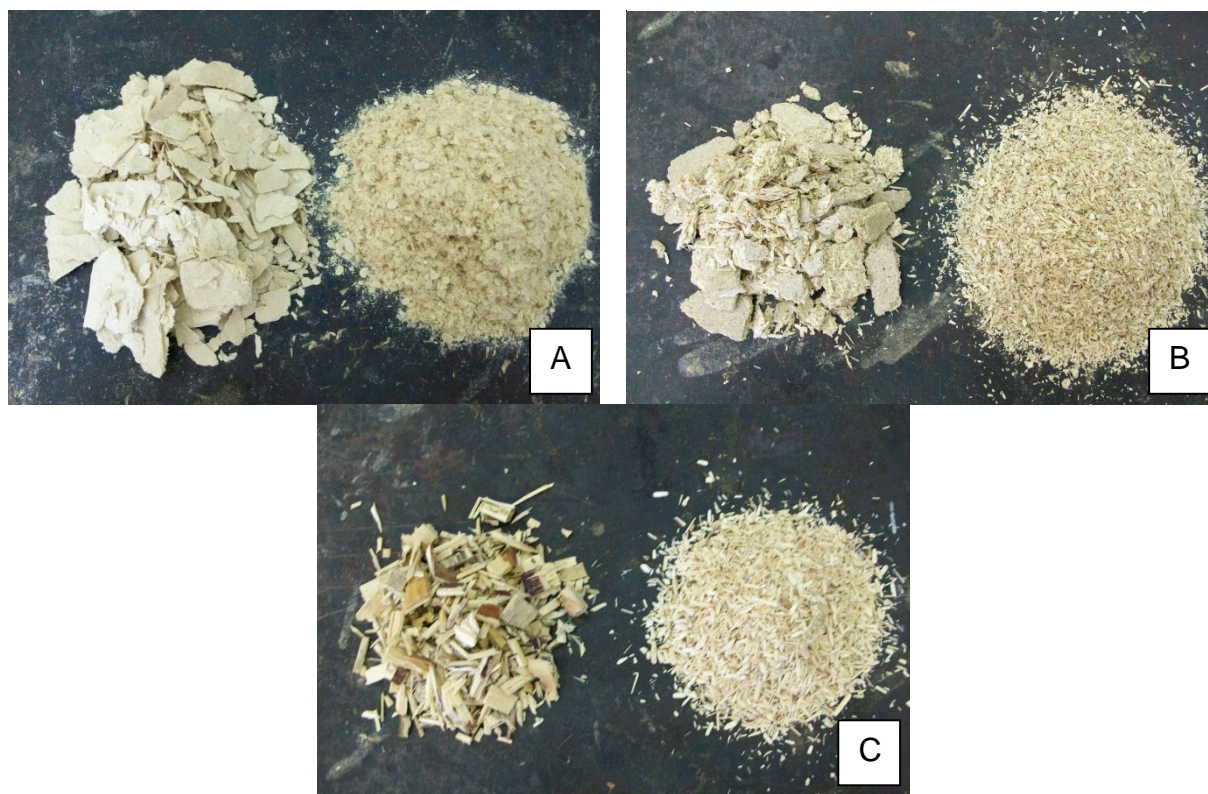


FIGURA 8 - RESÍDUOS TRANSFORMADOS EM PARTÍCULAS PARA FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA. A: MDF; B: MDP; C: COMPENSADO

3.2.2 Descrição do delineamento experimental

O experimento consistiu de 10 tratamentos e três repetições, totalizando 30 painéis, onde foram analisados os tipos de painéis e misturas de partículas e os diferentes teores de resina ureia-formaldeído – UF (Tabela 5).

TABELA 5 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Tratamento	Resíduos	Proporção de resina (%)	Proporção de mistura dos resíduos (%)
T1	MDP	10	100
T2	Compensado	10	100
T3	MDF	10	100
T4	MDP e MDF	10	50/50
T5	MDP e compensado	10	50/50
T6	Compensado e MDF	10	50/50
T7	MDP, compensado e MDF	10	33/33/33
T8	MDP	6	100
T9	Compensado	6	100
T10	MDF	6	100

Os resíduos foram utilizados na fabricação de painéis de forma pura (100%) ou misturados. A proporção de misturas das partículas, provenientes de resíduos de compensados, MDP E MDF, foi de 50% e 50% nos painéis com dois tipos de resíduos e 33% nos painéis com os três tipos de resíduos, conforme o Tabela 5.

A resina ureia-formaldeído (UF) foi utilizada nas proporções de 6 e 10% e a densidade nominal calculada para os painéis foi de 0,80 g/cm³.

3.2.3 Cálculo dos componentes dos painéis

a) Partículas

$D = M/V$ onde,

D = densidade do painel a 12% de umidade (g/cm³);

M = massa de partículas a 12% de umidade (g).

$V = \text{volume do painel} = E \times L \times C \text{ (cm}^3\text{)}$

E = espessura do painel (cm);

L = largura do painel (cm);

C = comprimento do painel (cm).

Da fórmula anterior tem-se:

$$M = D \times V$$

Através desta fórmula, obteve-se a massa de partículas secas necessária para painéis estabilizados com 12% de umidade, após a prensagem. Como neste trabalho os teores de umidade utilizados foram de aproximadamente 3%, houve a necessidade de calcular a massa de partículas para este teor de umidade, o que pode ser conseguido da seguinte maneira:

Em um painel com 12% de umidade tem-se:

100 partes de partículas a 0% de umidade;

10 partes de resina sólida;

12 partes de umidade;

1 parte de parafina.

TOTAL 123 partes, onde,

123 partes correspondem a M (massa de partículas a 12% de umidade)

Calcula-se a massa de partículas a 0% de umidade:

$$M_0 = (M \times 100)/123 \text{ onde,}$$

M_0 = massa de partículas a 0% de umidade (g)

A partir de M_0 pode-se calcular a massa de partícula necessária para qualquer teor de umidade, da seguinte forma:

$$M_n = (n/100 + 1) \times M_0, \text{ onde:}$$

M_n = massa de partículas a um determinado teor de umidade “n” (g)

n = teor de umidade das partículas pretendido (%).

b) Resina e parafina

A resina utilizada nos painéis foi a base de ureia-formaldeído (UF), em solução aquosa, aplicada nas proporções de 6% e 10% de sólidos (Tabela 5), e a emulsão de parafina foi aplicada na proporção de 1%, ambas em relação à quantidade de massa seca de partículas.

As informações técnicas da resina e da emulsão de parafina foram disponibilizadas pelas respectivas indústrias fabricantes, conforme descrito na Tabela 6.

TABELA 6 - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DA RESINA E DA PARAFINA UTILIZADAS NOS PAINÉIS

Informações técnicas	Resina UF	Emulsão parafínica
teor de sólidos (%)	66-68***	58,3****
Viscosidade (Brookfield)*	300-400	190
pH*	7,6-8,2	10,3
Densidade (g/cm ³)*	1,294 – 1,306	0,930
Tempo de formação de gel **	40-80	-

NOTAS: *determinados a 25°C; ** 5g da mistura: 100g resina + 2g Sulfato de amônio P.A.; *** teor de sólidos (0,5g/3h/105°C); **** sólido estufa (1g/2h/120+-5°C).

Portanto, para o teor de sólidos da resina e da emulsão de parafina foram considerados os valores indicados pelos fabricantes, conforme a ficha descritiva do produto. Neste caso, para a resina o fabricante indicou que o teor de sólidos encontrava-se entre 66 e 68% e foi utilizado o valor médio de 67%. Para a emulsão de parafina utilizada o teor de sólidos determinado pelo fabricante foi de 58,3%.

A quantidade de resina (sólido) estabelecida no plano experimental foi de 6% e 10% de sólidos sobre o peso de partículas secas, conforme o estabelecido nos tratamentos. Então, para 6% de resina (T8 a T10) tem-se:

$$AS = M0 \times 6/100, \text{ sendo}$$

AS = quantidade de resina na forma sólida (g)

Como a resina utilizada estava na forma líquida, foi necessário fazer a devida transformação:

$$AL = AS \times 100/TS$$

AL = quantidade de resina na forma líquida (g)

TS = teor de sólidos contido na resina líquida (%)

E para 10% de resina (T1 a T7) tem-se:

$$AS = M0 \times 10/100, \text{ sendo}$$

AS = quantidade de resina na forma sólida (g)

Transformação, devido a resina na forma líquida:

$$AL = AS \times 100/TS$$

AL = quantidade de resina na forma líquida (g)

TS = teor de sólidos contido na resina líquida (%).

Para a produção dos painéis acrescentou-se 1% de parafina (sólidos) na mistura das partículas, com base no peso de partículas a 0% de umidade.

$$PS = 1/100 \times M0, \text{ onde}$$

PS = peso de parafina (sólidos) em g.

A parafina utilizada estava na forma de emulsão numa concentração de sólidos de 58,3%, portanto:

$$PL = 100/58,3 \times PS \text{ onde,}$$

PL = peso de emulsão de parafina (g).

c) Catalisador

A quantidade de catalisador, sulfato de amônia – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, utilizada foi de 2% sobre a quantidade de resina na forma sólida.

$$CS = 2/100 \times AS$$

CS = quantidade de catalisador na forma sólida (g)

Para utilizar o catalisador foi necessária a diluição em água antes de misturar com a resina, o que foi feito considerando-se uma solução com concentração de 25% como segue:

$$CL = 100/25 \times CS, \text{ onde}$$

CL = solução de catalisador (g)

3.2.4 Classificação granulométrica das partículas

A granulometria das partículas determina a distribuição percentual do tamanho das partículas através de um conjunto de peneiras.

A classificação ocorreu por peneiramento em conjunto de peneiras colocadas no classificador automático, de acordo com a Figura 9.

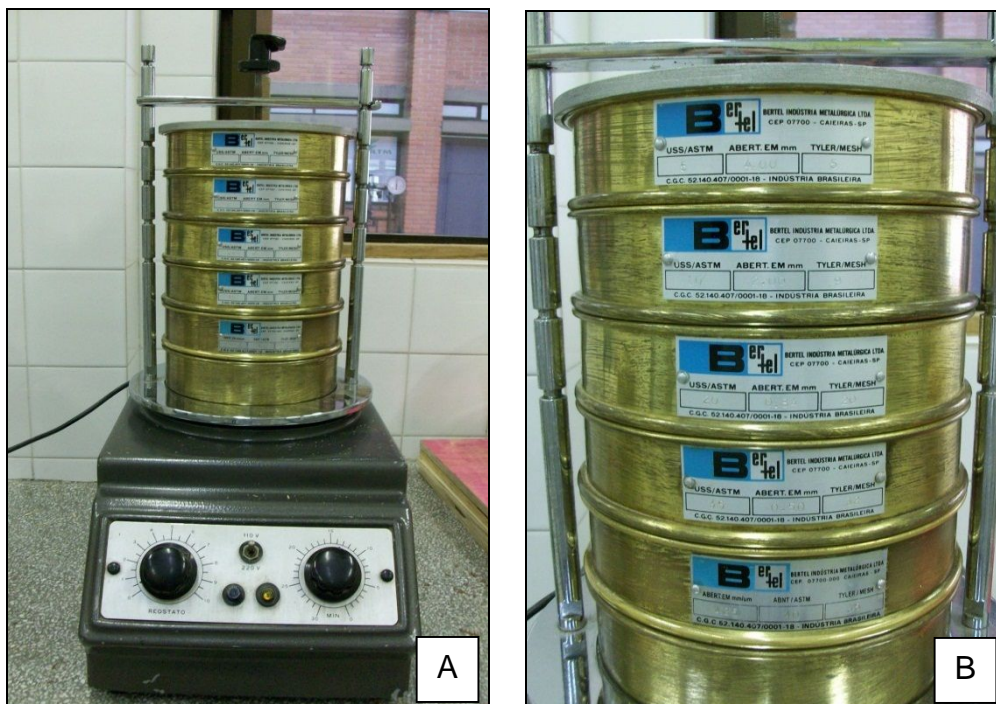


FIGURA 9 - CLASSIFICADOR AUTOMÁTICO (A) E CONJUNTO DE PENEIRAS (B) UTILIZADAS NO TESTE DE GRANULOMETRIA

A coleta de material para a análise de granulometria das partículas foi realizada de forma aleatória e homogênea, nas porções de partículas prontas para a produção dos painéis.

O conjunto de peneiras utilizado para a realização da análise granulométrica depende do tamanho das partículas a serem analisadas. Para as partículas produzidas a partir de resíduos de painéis, foi utilizado um conjunto de peneiras composto por cinco granulometrias conforme as especificações da ASTM, correspondendo a 5, 9, 20, 32 e 35 *mesh* respectivamente, conforme a Tabela 7.

TABELA 7 - CONJUNTO DE PENEIRAS UTILIZADO NO TESTE DE GRANULOMETRIA DAS PARTÍCULAS

CONJUNTO DE PENEIRAS	
ASTM	mm
5	4,0
9	2,0
20	0,84
32	0,50
35	0,42
-	Fundo

O procedimento de análise seguiu a seguinte sequência:

- homogeneização da amostra;
- verificação da sequência correta das peneiras;
- colocação de aproximadamente 100g de partículas na primeira peneira do conjunto (4,0 mm);
- adaptação do conjunto de peneiras ao aparelho;
- regulação do reostato do aparelho em 70 e programação para 15 minutos;
- encerrado o tempo, pesagem em uma balança analítica da quantidade de material que ficou depositado em cada peneira e no recipiente de fundo, respeitando a sequência das malhas.

Para os cálculos e a expressão dos resultados, cada valor encontrado em peso em cada peneira foi transformado em % em relação à quantidade colocada no conjunto de peneiras e o resultado foi expresso em porcentagem.

As partículas que passaram na peneira de 35 mesh foram classificadas como finos. Porém, os painéis foram produzidos com todas as partículas classificadas já que os finos dos resíduos de compensado e MDP já haviam sido separados em peneira mecânica.

3.2.5 Determinação do teor de umidade

Após o teste de granulometria e antes da prensagem, as partículas foram secas em estufa convencional, a uma temperatura de 100°C, até atingirem teores de umidade próximos a 3%.

O teor de umidade das partículas foi determinado antes da aplicação da resina, misturada ao catalisador, e da parafina no tambor de mistura, através de uma balança à base de luz infravermelho específica para essa finalidade. Esta medida foi tomada para ter-se ideia da umidade média das partículas e suas possíveis implicações no momento da prensagem.

3.2.6 Aplicação da resina e dos aditivos químicos

Após a pesagem e a separação das partículas nas quantidades calculadas, conforme o delineamento experimental, foi adicionada a resina, misturada ao catalisador, e a emulsão de parafina por meio de aspersão, com auxílio de uma pistola, em um aplicador do tipo tambor rotatório, denominado encoladeira, conforme demonstrado na Figura 10.

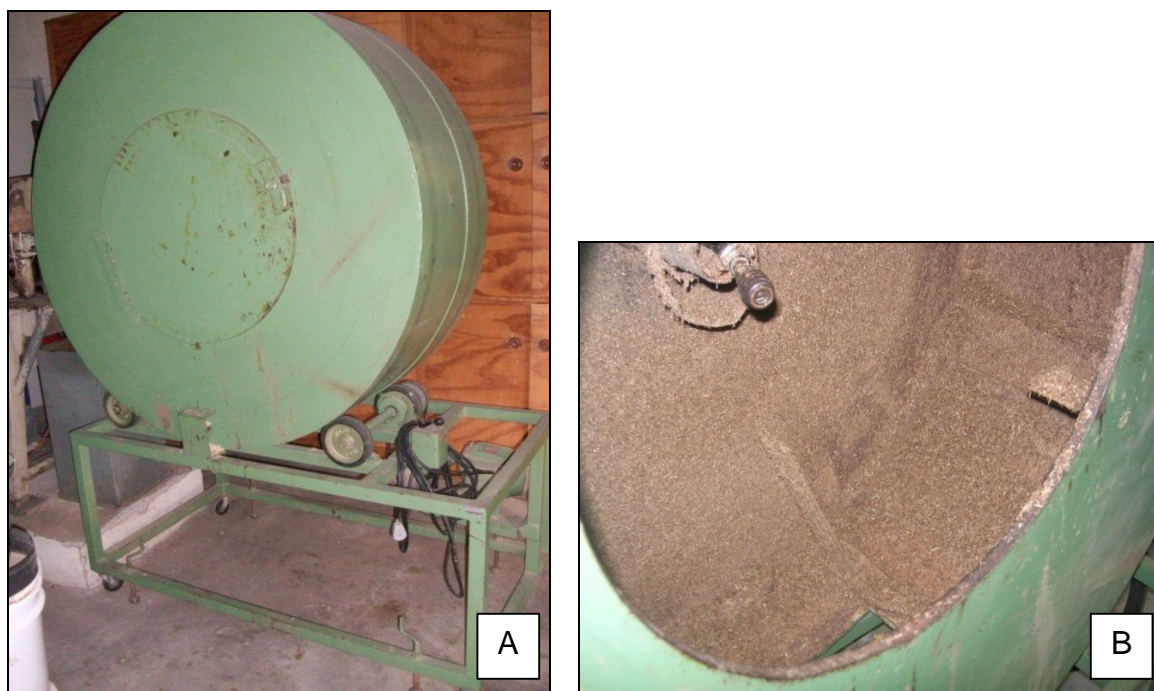


FIGURA 10 - ENCOLADEIRA DE TAMBOR, ONDE FORAM MISTURADAS AS PARTÍCULAS, A RESINA, O CATALISADOR E A EMULSÃO DE PARAFINA (A E B)

3.2.7 Preparação do colchão de partículas

O colchão de partículas foi formado manualmente, utilizando-se uma caixa de madeira, com dimensões de 50 cm de largura por 50 cm de comprimento (Figura 11), na qual as partículas, correspondentes a um painel, foram distribuídas uniformemente.



FIGURA 11 - FORMAÇÃO DO COLCHÃO DE PARTÍCULAS

3.2.8 Pré-prensagem

A pré-prensagem foi feita para reduzir os espaços de ar, para evitar a perda de partículas nas bordas do colchão no momento do transporte até a prensa e, também, para facilitar o fechamento da prensa (Figura 12).





FIGURA 12 - COLCHÃO FORMADO (A) PARA PRÉ-PRENSAGEM (B E C) E COLCHÃO PRONTO PARA A PRENSAGEM A QUENTE (D E E)

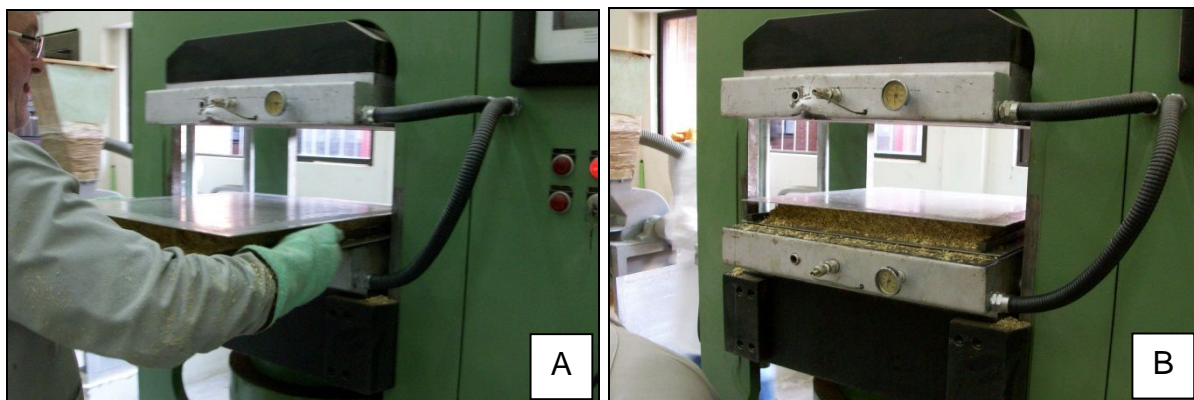
Em seguida, o colchão foi colocado entre duas lâminas de alumínio, momento em que também foram colocados os espaçadores de 15 mm de espessura em duas laterais opostas do colchão, para delimitar a espessura do painel.

3.2.9 Prensagem

Os painéis foram prensados em uma prensa de pratos com aquecimento elétrico, à temperatura de 160°C, pressão específica de 40 kgf/cm² e tempo de prensagem de 8 minutos por painel.

Depois de prensados os painéis foram mantidos à temperatura ambiente, para atingirem a umidade de equilíbrio. Posteriormente foram esquadrejados (Figura 13 - F) e acondicionados em câmara climatizada, com temperatura 20 ± 3°C e umidade relativa de 65 ± 5 %, para estabilizarem no teor de umidade adequado.

A Figura 13 apresenta imagens do processo de prensagem dos painéis.



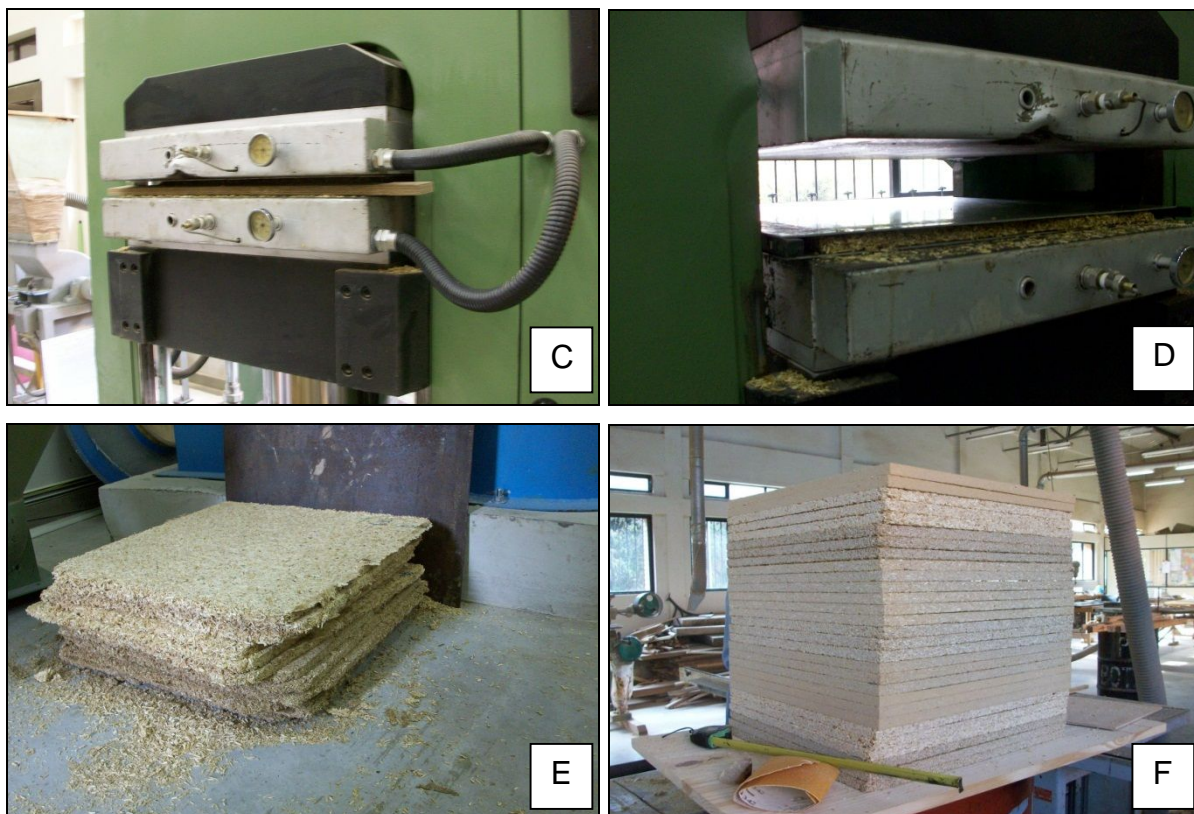


FIGURA 13 - PROCESSO DE PRENSAGEM DOS PAINÉIS. A E B) CARREGAMENTO DA PRENSA QUENTE; C) PRENSAGEM A 160°C; D) ABERTURA DA PRENSA; E) PAINÉIS PRENSADOS; F) PAINÉIS ESQUADREJADOS

3.2.10 Avaliação qualitativa dos painéis

Após a prensagem, esquadrejamento e climatização por um período de 10 dias na câmara, os painéis foram seccionados em corpos de prova (figura 14) para a determinação e a avaliação das propriedades físico-mecânicas.

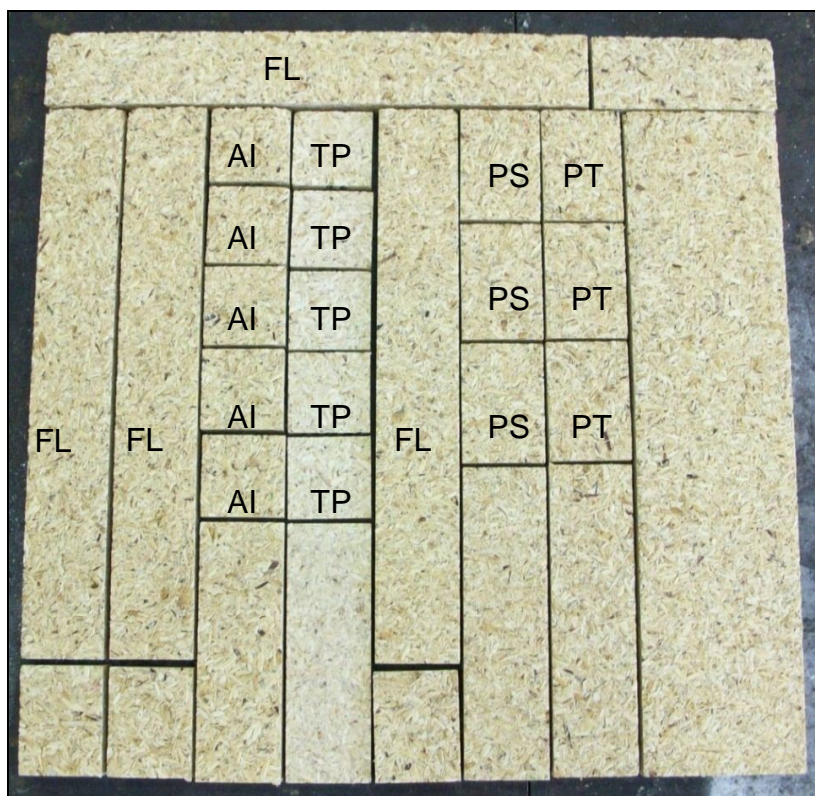


FIGURA 14 - CORPOS DE PROVA RETIRADOS DE CADA PAINEL PRODUZIDO

NOTAS: FL – flexão estática; AI – absorção e inchamento; TP – tração perpendicular à superfície; PS – arrancamento de parafuso na superfície; PT – arrancamento de parafuso no topo.

A quantidade de corpos de prova por painel foi de: 5 unidades para o ensaio de absorção d'água e inchamento em espessura; 4 unidades para o ensaio de flexão estática; 3 unidades para arrancamento de parafuso na superfície; 3 unidades para arrancamento de parafuso no topo; e 5 unidades para o ensaio de tração perpendicular à superfície.

Os corpos de prova foram levados novamente para a câmara climatizada, para estabilização da umidade, por um período aproximado de 45 dias, para posterior realização dos ensaios físicos-mecânicos.

A avaliação da qualidade dos painéis produzidos com resíduos compreendeu a determinação das seguintes propriedades físicas e mecânicas: massa específica aparente, absorção d'água e inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão em água; flexão estática; arrancamento de parafusos (superfície e topo) e tração perpendicular à superfície, de acordo com as recomendações das respectivas normas.

As propriedades físicas foram avaliadas de acordo com as seguintes normas europeias:

- Massa específica aparente – EN 323:2002;
- Absorção de água – EN 317:2002;
- Inchamento em espessura – EN 317:2002;
- Teor de umidade – EN 322:2002.

As propriedades mecânicas foram avaliadas conforme as normas:

- Flexão estática – EN 310:2002;
- Tração perpendicular à superfície do painel – EN 319:2002;
- Resistência ao arrancamento de parafuso no topo e na superfície – NBR 14810:2006;

Os valores obtidos nos ensaios foram comparados com os requisitos das Normas EN 312:2003 e NBR 14810-2:2006.

3.2.11 Análise estatística

Para avaliar os experimentos foi primeiramente utilizada a análise de variância (ANOVA) da massa específica aparente dos 10 tratamentos, com o objetivo de verificar a necessidade da análise de covariância. Constatadas as diferenças significativas entre as massas específicas dos tratamentos, foi realizada a análise de covariância (ANCOVA). Este procedimento foi tomado porque quando se produz painéis de partículas em laboratório é praticamente impossível obter-se painéis com a mesma densidade. Inclusive a variação de densidade dentro de um mesmo painel, no sentido paralelo à superfície e no sentido perpendicular à superfície, é bastante considerável.

Portanto, a análise de covariância ajusta os resultados das observações a respectiva massa específica aparente média de cada painel, tendo em vista a heterogeneidade da densidade e sua influência sobre as propriedades, permitindo-se assim uma comparação mais realista.

Todos os testes foram aplicados ao nível de 95% de significância, e o programa estatístico utilizado para a análise foi o *Statgraphics Plus*.

Havendo a rejeição da hipótese de igualdade, foi aplicado o Teste de Tukey para comparação das médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS DAS PARTÍCULAS

4.1.1 Granulometria das partículas

A granulometria das partículas geradas a partir dos resíduos, em condições laboratoriais, é apresentada na Tabela 8.

TABELA 8 - GRANULOMETRIA DAS PARTÍCULAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

CONJUNTO DE PENEIRAS (mm)	(ASTM)	COMPENSADO (%)	MDP (%)	MDF (%)
4,00	5 ¹	2,86	1,32	95,20
2,00	9 ²	27,19	27,10	0,96
0,84	20 ³	48,91	54,26	0,88
0,50	32 ⁴	14,92	13,33	1,23
0,40	35 ⁵	2,52	1,63	0,43
fundo	fundo	3,60	2,36	1,30

NOTAS: ¹Partículas retidas na peneira ASTM 5, com abertura de 4,0 mm. ²Partículas que passaram na peneira ASTM 5 e ficaram retidas na peneira ASTM 9, com abertura de 2,0 mm. ³Partículas que passaram na peneira ASTM 9 e ficaram retidas na peneira ASTM 20, com abertura de 0,84 mm. ⁴Partículas que passaram na peneira ASTM 20 e ficaram retidas na peneira ASTM 32, com abertura de 0,50 mm. ⁵Partículas que passaram na peneira ASTM 32 e ficaram retidas na peneira ASTM 35, com abertura de 0,40 mm.

Embora seja possível verificar, na Tabela 8, que o resíduo de MDF tenha proporcionado partículas de maior granulometria, é importante ressaltar que as fibras acumuladas na peneira ASTM 5 apresentavam aspecto semelhante às fibras de algodão, o que prejudicou a passagem das mesmas para as peneiras seguintes e resultou em um valor granulométrico superestimado (95,20%). No entanto, optou-se por manter a metodologia seguida para os demais resíduos (compensado e MDP).

A distribuição granulométrica para as partículas de compensado e de MDP apresentaram semelhanças, conforme se observa na Tabela 8. Esses resíduos tiveram maior proporção de partículas retidas nas peneiras ASTM 20 e ASTM 9, respectivamente.

O compensado apresentou a maior proporção de partículas no fundo, ou seja, maior presença de “finos”. O maior percentual de finos (3,60%), gerados no

processamento dos resíduos de compensados, pode causar adesão inadequada entre as partículas, tendo em vista que os finos aumentam o consumo de resina, o que pode prejudicar a qualidade dos painéis.

4.1.2 Teor de umidade das partículas

O teor de umidade das diferentes partículas, antes da aplicação da resina, está apresentado na Tabela 9.

TABELA 9 - TEOR DE UMIDADE MÉDIO DAS PARTÍCULAS

PARTÍCULAS	TEOR DE UMIDADE MÉDIO (%)
compensado	3,68
MDF	2,60
MDP	2,99

Observa-se na Tabela 9 que os valores de teor de umidade das partículas encontram-se na faixa ou próximo do intervalo normalmente utilizado para a produção de painéis. Este intervalo varia entre 3% e 6% de umidade (MOSLEMI, 1974; IWAKIRI, 1989; VITAL, HASELEIN e DELLA LUCIA, 1992; MALONEY, 1993).

O controle do teor de umidade das partículas é necessário para que o excesso de vapor durante o processo de prensagem não cause defeitos no painel. Por outro lado, um teor de umidade muito baixo pode causar ligações deficientes e, portanto, reduzir as propriedades mecânicas.

4.2 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

4.2.1 Propriedades físicas

4.2.1.1 Massa específica aparente

Os valores médios referentes à massa específica aparente dos painéis, com os respectivos coeficientes de variação, são apresentados na Tabela 10.

Pode-se observar que a Análise de Variância das médias determinou diferença estatística significativa entre os dez tratamentos, havendo a necessidade

de ajuste destes valores para análise das propriedades mecânicas, através da Análise de Covariância.

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS

TRATAMENTOS	MASSA ESPECÍFICA APARENTE	
	MÉDIA (g/cm ³)	CV (%)
T1 – MDP ¹	0,741 bc	8,28
T2 – C ¹	0,729 abc	6,25
T3 – MDF ¹	0,765 c	5,33
T4 – MDP/MDF	0,743 bc	7,25
T5 – MDP/C	0,746 bc	3,06
T6 – C/MDF	0,730 abc	7,22
T7 – MDP/C/MDF	0,763 c	5,98
T8 – MDP ²	0,681 a	4,15
T9 – C ²	0,702 ab	4,31
T10 – MDF ²	0,714 abc	9,59

NOTAS: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; MDF: painéis *Medium Density Fiberboard*; C: painéis compensados; MDP: painéis *Medium Density Particleboard*; ¹Painéis produzidos com 10% de resina UF; ²Painéis produzidos com 6% de resina UF. Massa específica média dos tratamentos de 0,731g/cm³.

Os valores médios de massa específica aparente, apresentados na Tabela 10, variaram de 0,681 g/cm³ (T8) a 0,765 g/cm³ (T3). Os valores obtidos foram inferiores a massa específica nominal calculada (0,80 g/cm³), provavelmente devido ao retorno em espessura e a liberação de tensões das partículas, após a prensagem dos painéis. Outro fator que pode ter influenciado nesta diferença é a deposição de partículas sobre os espaçadores de 15 mm de espessura, durante o fechamento da prensa, o que pode ter aumentado a espessura do painel, reduzindo a massa específica aparente.

Na Tabela 10, pode-se observar que os painéis compostos por partículas puras de resíduos e 10% de resina (tratamentos 1, 2 e 3) são estatisticamente iguais. Entre eles, os painéis produzidos com resíduos de MDF (T3) apresentaram o maior valor médio para massa específica aparente (0,765 g/cm³), e os painéis com resíduos de compensados (T2) apresentaram o menor valor (0,729 g/cm³).

Os valores médios da massa específica aparente dos painéis compostos por misturas de resíduos (tratamentos 4, 5, 6 e 7) também são estatisticamente iguais, determinando que as misturas de partículas não interferiram significativamente nesta

propriedade. Entre estes tratamentos, os painéis produzidos com os três resíduos (T7) apresentaram a maior média (0,763 g/cm³), enquanto os painéis produzidos com resíduos de compensados e MDF (T6) apresentaram a menor média (0,730 g/cm³).

Os painéis produzidos com resíduos puros e 6% de resina (tratamentos 8, 9 e 10) também são estatisticamente iguais entre si para massa específica aparente. Nesta análise, os painéis produzidos com resíduos de MDF (T10) apresentaram a maior média para massa específica aparente (0,714 g/cm³), enquanto os painéis produzidos com resíduos de MDP (T8) apresentaram a menor média (0,681 g/cm³).

Verifica-se, porém, que houve diferença estatística significativa entre os tratamentos produzidos com resíduos de MDP e diferentes proporções de resina. Os painéis produzidos com 6% de resina (T8), com massa específica média de 0,681 g/cm³, apresentaram a menor média em relação aos painéis com 10% de resina (T1), nos quais a massa específica média foi de 0,741 g/cm³.

Para os painéis compostos por resíduos de compensados e 10% de resina (T2), com 0,729 g/cm³, a massa específica apresentou-se estatisticamente igual aos painéis compostos pelo mesmo material e 6% de resina (T9), com 0,702 g/cm³.

Os painéis produzidos com resíduos de MDF e 10% de resina (T3), com 0,765 g/cm³, apresentaram massa específica estatisticamente igual aos painéis produzidos com resíduos de MDF, porém com 6% de resina (T10), que apresentaram média de 0,714 g/cm³.

A provável justificativa, a partir da análise dos parágrafos anteriores, é que a quantidade de resina pode ter sido determinante para o aumento da massa específica aparente nos painéis compostos por resíduos de MDP e 10 % de resina (T1), comparados à massa específica dos painéis do mesmo resíduo com 6% de resina (T8). Porém, para os demais tratamentos produzidos com a mesma matéria-prima, não há diferença significativa na massa específica, demonstrando que a quantidade de resina não interferiu nesta propriedade e a combinação entre partículas dos diferentes painéis foi eficiente.

Observa-se ainda que os tratamentos 8, 9 e 10 apresentaram as menores médias absolutas para massa específica aparente deste experimento. Estes tratamentos foram produzidos com 6% de resina, o que pode ter sido a causa para as baixas massas específicas encontradas, devido à menor ligação entre as partículas.

4.2.1.2 Teor de umidade dos painéis

Os teores de umidade dos painéis, após o período de climatização, são apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE UMIDADE DOS PAINÉIS

TRATAMENTOS	TEOR DE UMIDADE	
	MÉDIA (%)	CV (%)
T1 – MDP ¹	8,67 d	1,52
T2 – C ¹	8,87 e	1,38
T3 – MDF ¹	7,34 a	1,79
T4 – MDP/MDF	8,02 b	2,09
T5 – MDP/C	8,64 d	1,24
T6 – C/MDF	8,13 bc	1,53
T7 – MDP/C/MDF	8,27 c	1,79
T8 – MDP ²	8,65 d	1,85
T9 – C ²	8,96 e	0,93
T10 – MDF ²	7,42 a	2,18

NOTAS: Médias seguidas de uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; MDF: painéis *Medium Density Fiberboard*; C: painéis compensado; MDP: painéis *Medium Density Particleboard*; ¹Painéis produzidos com 10% de resina UF; ²Painéis produzidos com 6% de resina UF.

Verifica-se, na Tabela 11, que existem diferenças estatísticas significativas entre as médias dos teores de umidade dos painéis, conforme a Análise de Variância. Os valores médios variaram entre 7,34 (T3) e 8,96% (T9).

Nos painéis com resíduos puros e 10% de resina (tratamentos 1, 2 e 3) houve diferença estatística significativa, determinando que as partículas provenientes de resíduos dos diferentes painéis reagem de forma diferenciada com a umidade relativa do ambiente. Nestes tratamentos, os painéis produzidos com resíduos de compensados (T2) apresentaram a maior média, com 8,87% de umidade, enquanto os painéis com resíduos de MDF apresentaram a menor média, com 7,34% de umidade.

Para os painéis com misturas de resíduos (tratamentos 4, 5, 6 e 7) também houve diferença estatística significativa. Os painéis produzidos com resíduos de compensado e MDF (T6), com 8,13% de umidade, igualaram-se estatisticamente aos painéis produzidos com resíduos de painéis MDF e MDP (T4), com 8,02% de umidade, e aos painéis produzidos com a mistura dos três resíduos (T7), com

8,27%. Porém, o tratamento 4 difere estatisticamente do tratamento 7. Ainda, os painéis com resíduos de compensado e MDP (T5), com 8,64% de umidade, diferem estatisticamente dos demais painéis produzidos com misturas.

Esta discussão demonstra que as misturas de partículas de resíduos interferem no teor de umidade dos painéis de forma diferenciada. O tamanho das partículas e suas associações em misturas podem ser significativos para esta propriedade.

Para os painéis produzidos com 6% de resina (tratamentos 8, 9 e 10), o teor de umidade apresentou diferença estatística distinta entre tratamentos, assim como ocorreu nos três primeiros tratamentos deste experimento. Os painéis compostos pelos resíduos de painéis compensados (T9) apresentaram o maior teor médio de umidade (8,96%) e os painéis produzidos com resíduos de MDF (T10) apresentaram o menor teor médio de umidade (7,41%).

Comparando os tratamentos produzidos com resíduos puros e as proporções de resina (6 e 10%), é possível observar que as médias igualaram-se estatisticamente entre os painéis produzidos com os mesmos resíduos, ou seja, os valores médios obtidos para os painéis dos tratamentos 1, 2 e 3 não diferem estatisticamente dos valores dos painéis 8, 9 e 10, respectivamente.

Nota-se, no contexto do parágrafo anterior, que os painéis compensados, cujo resíduo foi utilizado nos tratamentos 2 e 9 de forma pura, originalmente não recebem adição de parafina no processo produtivo, justificando, desta forma, a maior higroscopicidade em relação aos demais tratamentos deste experimento. Os resíduos de MDF e MDP já tinham parafina em suas composições e, ainda, receberam a parafina adicionada neste experimento.

Entre os painéis produzidos com resíduos de MDP e com 10 e 6% de resina (T1 e T8 respectivamente), apesar da presença de parafina nos resíduos e da adição de parafina na produção em laboratório, os teores de umidade destes tratamentos diferem estatisticamente dos teores encontrados nos tratamentos 3 e 10 (MDF). Ainda, esses quatro tratamentos citados também diferem dos teores encontrados nos tratamentos 2 e 9 (compensado).

Em referência a trabalhos publicados sobre painéis de madeira, que comprovam a baixa umidade de equilíbrio em produtos de madeira reconstituída, pode-se citar Hillig, Haselein e Santini (2004) que encontraram valores entre 3,74% e 8,78% para painéis *flakeboards* de *Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis* e *Acacia*

mearnsii; Cabral *et al.* (2007) encontraram valores de 9,62% a 9,94% para painéis de madeira aglomerada produzidos com *Eucalyptus* spp. e *Pinus elliottii*; e Carneiro *et al.* (2009) com valores de 9,10% a 10,23% para painéis de madeira aglomerada de *Pinus elliottii*, colados com ureia-formaldeído e adesivos tânicos.

De maneira geral, os teores de umidade dos tratamentos ficaram abaixo dos valores obtidos por outros autores. Isto pode ser explicado pelo fato desse material ter passado por aquecimento na fabricação inicial dos painéis e ter sido novamente submetido ao aquecimento a altas temperaturas neste processo produtivo, o que pode ter danificado as estruturas anatômicas da madeira e causado perda de água de constituição.

A redução na higroscopicidade também pode ser causada pela incorporação de resina e parafina, ambas redundantes neste experimento, deixando o painel menos reativo a água.

4.2.1.3 Absorção de água e inchamento em espessura

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água e inchamento em espessura são apresentados na Tabela 12. Para os valores deste ensaio, a Análise de Covariância demonstrou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

TABELA 12 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

TRATAMENTOS	ABSORÇÃO DE ÁGUA ³				INCHAMENTO EM ESPESSURA ³			
	2 horas (%)	CV (%)	24 horas (%)	CV (%)	2 horas (%)	CV (%)	24 horas (%)	CV (%)
T1 – MDP ¹	9,76 bc	21,26	25,13 cd	17,63	3,91 ab	18,23	10,51 bc	12,60
T2 – C ¹	14,89 de	27,97	44,33 e	16,07	7,14 c	17,85	19,80 e	17,49
T3 – MDF ¹	6,04 a	11,73	18,50 ab	5,23	2,50 a	29,41	6,42 a	13,99
T4 – MDP/MDF	5,89 a	19,35	16,17 a	9,56	3,02 a	16,19	7,05 a	9,12
T5 – MDP/C	9,68 bc	17,20	29,13 d	10,85	4,90 b	26,98	12,92 c	15,40
T6 – C/MDF	7,59 ab	18,17	21,82 bc	15,36	2,87 a	29,89	7,96 ab	15,88
T7 – MDP/C/MDF	7,42 ab	24,18	20,56 abc	16,43	3,44 a	22,66	7,88 a	17,32
T8 – MDP ²	11,91 cd	44,49	29,25 d	17,78	7,00 c	35,14	16,65 d	19,36
T9 – C ²	17,09 e	29,58	57,41 f	13,34	8,38 c	17,76	32,26 f	12,41
T10 – MDF ²	5,00 a	21,82	17,45 ab	14,94	3,35 a	24,62	8,65 ab	9,26

NOTAS: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade. MDF: painéis Medium Density Fiberboard; C: painéis compensado; MDP: painéis Medium Density Particleboard; ¹Painéis produzidos com 10% de resina UF; ²Painéis produzidos com 6% de resina UF. ³Valores justados por ANCOVA para uma massa específica aparente média de 0,731 g/cm³.

Os valores médios observados na Tabela 12, para absorção de água após 2 horas de imersão, variaram de 5,00% (T10) a 17,09% (T9).

Os painéis produzidos com resíduos puros e 10% de resina (tratamentos 1, 2 e 3) apresentaram-se estatisticamente distintos entre si, denotando que as diferenças entre as partículas dos resíduos foi significativa para esta propriedade. Entre estes tratamentos, os painéis produzidos com resíduos de compensados (T2) apresentaram a maior média (14,89%) e os painéis produzidos com resíduos de MDF (T3) apresentaram a menor média (6,04%) de absorção de água.

Os painéis com misturas de resíduos apresentaram diferença estatística entre si, onde a maior média foi encontrada nos painéis com resíduos de MDP e compensados (T5), com 9,68%, e a menor média foi dos painéis com resíduos de MDP e MDF (T4), com 5,98%. O T4 igualou-se estatisticamente a média dos painéis compostos por resíduos de compensado e MDF (T6), estes com 7,59%, e também igualou-se aos painéis compostos pela mistura dos três resíduos (T7), estes com 7,42%. O mesmo ocorreu com o T5. Porém, o T5 diferiu estatisticamente do T4.

Os painéis produzidos com 6% de resina (tratamentos 8, 9 e 10) são estatisticamente distintos entre si, apresentando o mesmo comportamento dos

painéis produzidos com 10% de resina (tratamentos 1, 2 e 3). Entre os primeiros painéis, a maior absorção ocorreu nos painéis produzidos com resíduos de compensados (T9), com 17,09%, enquanto a menor absorção de água ocorreu nos painéis produzidos com resíduos de MDF (T10), com 5,00%.

Comparando as proporções de resina, observa-se que os painéis produzidos com resíduos de MDP, com 10 e 6% de resina (tratamentos 1 e 8 respectivamente), são estatisticamente iguais. O tratamento 9, com 6% de resina, absorveu mais água nesta condição, igualando-se estatisticamente ao tratamento 2, com 10% de resina, ambos os tratamentos produzidos com resíduos de painéis compensados. Os painéis com resíduos de MDF e 6% de resina (T10) apresentaram o menor índice de absorção de água (5,00%), sendo este valor estatisticamente igual à média dos painéis com o mesmo material, porém 10% de resina (T3), com 6,04%.

Em relação à absorção de água após 24 horas de imersão, os valores médios variaram de 16,17% (T4) a 57,41% (T9).

Os painéis produzidos com resíduos puros e 10% de resina (tratamentos 1, 2 e 3) também apresentaram diferenças estatísticas entre si, mantendo a mesma tendência dos valores encontrados para 2 horas de imersão em água. Após 24 horas de imersão em água, os painéis produzidos com resíduos de compensados (T2) continuaram com a maior média (44,33%), e os painéis produzidos com resíduos de MDF (T3) mantiveram a menor média de absorção de água (18,50%).

Os painéis com misturas de resíduos apresentaram-se estatisticamente diferentes novamente, onde a maior média foi encontrada nos painéis com resíduos de MDP e compensados (T5), com 29,13%, e a menor média foi dos painéis com resíduos de MDP e MDF (T4), com 16,17%. O T4 igualou-se estatisticamente somente a média dos painéis compostos pela mistura dos três resíduos (T7), estes com 20,56%. O T5 diferiu estatisticamente dos demais tratamentos com misturas. Porém, o T7 igualou-se estatisticamente aos tratamentos 4 e 6, este último, produzido com resíduos de compensados e MDF, apresentou 21,82% de absorção de água.

Os valores médios de absorção de água dos painéis produzidos com resíduos puros e 6% de resina (tratamentos 8, 9 e 10) são estatisticamente distintos entre si, com o mesmo comportamento dos valores médios encontrados nos painéis com resíduos puros e 10% de resina. A maior média ocorreu nos painéis com

resíduos de compensados (T9), com 57,41%, e a menor absorção foi verificada nos painéis com resíduos de MDF (T10), com 17,45%.

Comparando as proporções de resina, observa-se que os painéis produzidos com resíduos de MDP (tratamentos 1 e 8) são estatisticamente iguais entre si, assim como os painéis produzidos com resíduos de MDF (tratamentos 3 e 10). Porém, os painéis produzidos com resíduos de compensados (tratamentos 2 e 9) são estatisticamente diferentes entre si, para absorção de água após 24 horas de imersão.

Os painéis produzidos com resíduos de MDP e 10% de resina (T1) apresentaram valor médio de 25,13% de absorção de água, enquanto os painéis com os mesmos resíduos, porém 6% de resina (T8), apresentaram 29,25%. Entre os painéis com resíduos de MDF, o tratamento 3, com adição de 10% de resina, apresentou o valor médio de 18,50%, enquanto para os painéis com 6% de resina (T10) a absorção foi de 17,45%. Por fim, entre os painéis com resíduos de compensados, nos primeiros, com 10% de resina (T2), a média foi de 44,33% e para o mesmo material, com 6% de resina (T9), a absorção de água média foi de 57,41%.

Considerando os resultados obtidos para absorção de água após 24 horas de imersão, é possível justificar a maior absorção nos painéis com resíduos de compensados e 6% de resina (T9) devido a menor proporção de resina e a adição de parafina somente na produção em laboratório. Os menores índices de absorção de água, apresentados pelos tratamentos 4 (MDF e MDP) e 10 (MDF, com 6% de resina), podem ter ocorrido em função da dupla adição de parafina, na indústria e no laboratório da universidade.

Com base nesses fatos, a absorção de água pode ter sido influenciada pela disponibilidade de resina e, também, pela presença de parafina nos resíduos de painéis MDF e MDP, antes da produção dos painéis no laboratório.

A influência das dimensões e do formato das partículas e suas consequências não foram avaliadas neste experimento. Porém, estudos mais detalhados com esse tipo de matéria-prima seriam necessários, para avaliar com maior precisão o comportamento do painel produzido com esse material. Entre estes estudos, pode-se fazer uma análise do perfil de densidade dos painéis para verificar a influência da densidade nos resultados.

Em relação aos resultados obtidos para o inchamento em espessura observa-se, após 2 horas de imersão, que os valores médios variaram entre 2,50% (T3) e 8,38% (T9).

Os painéis produzidos com resíduos puros e 10% de resina (tratamentos 1, 2 e 3) apresentaram variação estatística significativa. Entre estes tratamentos, os painéis produzidos com resíduos de compensados (T2) obtiveram a maior média de inchamento (7,14%) e os painéis produzidos com resíduos de MDF (T3) obtiveram a menor média de inchamento em espessura (2,50%). A diferença de geometria das partículas desses dois painéis pode ter sido significativa para esta propriedade.

Os painéis com misturas de resíduos apresentaram igualdade estatística entre os tratamentos 4, 6 e 7. Apenas o tratamento 5 diferenciou-se estatisticamente dos tratamentos com resíduos misturados. Entre estes tratamentos, a maior média de inchamento em espessura (4,90%) foi encontrada nos painéis com resíduos de MDP e compensados (T5), e a menor média (2,87%) foi dos painéis com resíduos de compensados e MDF (T6). Para os painéis compostos por resíduos de MDP e MDF (T4), a média de inchamento foi de 3,02%, enquanto a média dos painéis compostos pela mistura dos três resíduos (T7) foi de 3,44%.

Entre os painéis produzidos com 6% de resina (tratamentos 8, 9 e 10), os painéis produzidos com MDP (T8) e compensados (T9) são estatisticamente iguais, ambos diferindo dos painéis produzidos com MDF (T10). O maior inchamento (8,38%) ocorreu nos painéis produzidos com resíduos de compensados (T9), enquanto o menor inchamento em espessura (3,35%) ocorreu nos painéis produzidos com resíduos de MDF (T10).

Comparando as proporções de resina, observa-se que os painéis produzidos com resíduos de MDP, com 10 e 6% de resina (T1 e T8 respectivamente), são estatisticamente diferentes entre si, para os quais o inchamento foi de 3,91% (T1) e 7,00% (T8). O pior desempenho foi demonstrado pelos painéis produzidos com compensados e 6% de resina (T9), com 8,38% de inchamento, sendo estes estatisticamente iguais aos painéis de mesmo material, porém 10% de resina (T2), com 7,14%. Os painéis produzidos com MDF e 10% de resina (T3) apresentaram o melhor desempenho em estabilidade dimensional, com 2,50% de inchamento, igualando-se estatisticamente aos painéis com o mesmo material, porém com 6% de resina (T10), que apresentaram 3,02% de inchamento em espessura.

Após 24 horas de imersão em água, os valores médios para inchamento variaram entre 6,42% (T3) e 32,26% (T9), mantendo a mesma tendência dos valores encontrados para 2 horas.

Os painéis produzidos com resíduos puros e 10% de resina (tratamentos 1, 2 e 3) apresentaram diferenças estatísticas. Entre estes tratamentos, os painéis produzidos com resíduos de compensados (T2) apresentaram a maior média de inchamento (19,80%) e os painéis produzidos com resíduos de MDF (T3) apresentaram a menor média de inchamento em espessura (6,42%). Percebe-se que as diferenças seguiram a mesma tendência dos valores de inchamento após 2 horas de imersão em água.

Os painéis com misturas de resíduos (tratamentos 4, 5, 6 e 7) apresentaram o mesmo desempenho das médias anteriores, após 2 horas de imersão em água. Apenas o tratamento 5 se diferenciou estatisticamente dos tratamentos 4, 6 e 7. Entre estes tratamentos, a maior média de inchamento em espessura foi encontrada nos painéis com resíduos de MDP e compensados (T5), com 12,92%, e a menor média foi dos painéis com resíduos de MDP e MDF (T4), com 7,05%. Para os painéis compostos por resíduos de compensados e MDF (T6) a média de inchamento foi de 7,96%, enquanto a média dos painéis compostos pela mistura dos três resíduos (T7) foi de 7,88%.

Entre os painéis produzidos com 6% de resina (tratamentos 8, 9 e 10), as médias dos tratamentos são estatisticamente diferentes entre si. O maior inchamento ocorreu nos painéis produzidos com resíduos de compensados (T9), com 32,26%, diferindo-se estatisticamente dos demais tratamentos, o que pode ter ocorrido devido à proporção inferior de resina e a menor presença de parafina. O menor inchamento em espessura (8,65%) ocorreu nos painéis produzidos com resíduos de MDF (T10).

Comparando as proporções de resina, observa-se que os painéis produzidos com resíduos de MDP, com 10 (T1) e 6% (T8) de resina, são estatisticamente diferentes entre si, para os quais o inchamento foi de 10,51% (T1) e 16,65% (T8). O pior desempenho foi demonstrado pelos painéis produzidos com compensado e 6% de resina (T9), sendo este tratamento estatisticamente diferente do valor médio (19,80%) encontrado para os painéis de mesmo material, porém 10% de resina (T2). Os painéis produzidos com MDF e 10% de resina (T3) apresentaram o melhor desempenho em estabilidade dimensional (6,42%), igualando-se estatisticamente

aos painéis com o mesmo material, porém com 6% de resina (T10), que apresentaram 8,65% de inchamento em espessura.

Observando-se as análises, o inchamento em espessura também pode ter sido influenciado pela disponibilidade de resina e pela presença de parafina nos resíduos de painéis MDF e MDP, antes da produção dos painéis no laboratório.

Em trabalho publicado por Iwakiri *et al.* (2000), com painéis produzidos puros ou em misturas a partir de resíduos de serrarias de três espécies de *Eucalyptus* (*E. maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*), com densidade nominal de 0,75 g/cm³ e duas proporções de resina UF (8 e 12%), observam-se valores entre 37,37% e 50,80% para absorção e 23,51% e 38,81% para inchamento em espessura, ambos após 24 horas de imersão em água.

Conforme pesquisa de Iwakiri *et al.* (2005), com painéis aglomerados de *Pinus spp.*, densidade de 0,650 g/cm³ e 8% de resina UF, os valores obtidos para absorção de água e inchamento em espessura foram de 126,58% e 29,99%, respectivamente, após 24 horas de imersão em água. Os mesmos autores encontraram, para painéis com 0,650 g/cm³ e 0,900 g/cm³, ambos com 8% de resina melamina ureia-formaldeído (MUF), valores de 105,79% e 65,84% para absorção de água, e 21,01% e 26,86% para inchamento em espessura, respectivamente.

Pode-se constatar, comparando os valores da Tabela 9 com os valores encontrados por pesquisadores citados, que os painéis produzidos com resíduos de painéis apresentaram bom desempenho para absorção d'água e inchamento em espessura.

4.2.2 Propriedades mecânicas

4.2.2.1 Flexão estática

Os resultados obtidos para o Módulo de Ruptura e para o Módulo de Elasticidade, a partir do ensaio de resistência à flexão estática dos painéis, são apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 - VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA E DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS

TRATAMENTO	MOR ³		MOE ³	
	MÉDIA (MPa)	CV (%)	MÉDIA (MPa)	CV (%)
T1 – MDP ¹	6,47 abc	26,96	1185,43 abc	27,89
T2 – C ¹	6,88 bcd	25,40	1429,51 bc	22,95
T3 – MDF ¹	9,76 f	21,38	1129,31 ab	29,52
T4 – MDP/MDF	8,23 cdef	35,38	1168,09 abc	31,04
T5 – MDP/C	5,75 ab	12,94	1522,31 c	25,79
T6 – C/MDF	9,09 ef	25,68	1405,76 bc	28,30
T7 – MDP/C/MDF	8,44 def	26,25	1438,93 bc	23,53
T8 – MDP ²	4,93 a	26,31	882,96 a	28,26
T9 – C ²	5,59 ab	20,96	1236,38 abc	21,58
T10 – MDF ²	7,86 cde	42,42	1158,75 ab	35,32

NOTAS: Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; MDF: painéis *Medium Density Fiberboard*; C: painéis compensado; MDP: painéis *Medium Density Particleboard*; ¹Painéis produzidos com 10% de resina UF; ²Painéis produzidos com 6% de resina UF; ³Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,706 g/cm³.

Os valores médios para o Módulo de Ruptura, observados na Tabela 13, variaram de 4,93 MPa (T8) a 9,76 MPa (T3).

Verifica-se que os valores médios de MOR dos painéis produzidos com resíduos de MDP (T1) e compensados (T2) são estatisticamente iguais, mas diferiram do valor médio obtido para os painéis de MDF (T3). Estes apresentaram a maior média para o MOR (9,76 MPa), enquanto os painéis de MDP (T1) tiveram a menor média (6,47 MPa), entre os painéis puros com 10% de resina.

Em outra comparação, nos painéis produzidos com misturas de resíduos (4, 5, 6 e 7) pode-se observar que os painéis com resíduos de compensados e MDF (T6) apresentaram a maior média para MOR (9,09 MPa). A menor média foi obtida pelos painéis produzidos com resíduos de MDP e compensados (T5), com 5,74 MPa.

Entre os painéis produzidos com resíduos puros e 6% de resina (tratamentos 8, 9 e 10), os painéis com resíduos de MDP (T8) e compensados (T9) são estatisticamente iguais, entretanto, ambos diferem dos painéis com resíduos de MDF

(T10). Nestes tratamentos, os painéis com resíduos de MDF (T10) apresentaram a maior média para MOR, com valor de 7,86 MPa. A menor média foi obtida pelos painéis produzidos com resíduos de MDP (T8), com 4,93 MPa.

Considerando a diferença na proporção de resina entre os painéis com resíduos puros, pode-se afirmar que os painéis com 6% de resina tiveram os menores valores neste ensaio mecânico, especialmente se observados os painéis com MDP (T8), e compensados (T9), com valores médios de 4,93 MPa e 5,59 MPa respectivamente. O maior valor médio obtido nesse experimento, para esta propriedade, foi dos painéis com resíduos de MDF e 10% de resina (T3), onde o MOR foi de 9,76 MPa.

Observa-se, a partir dos resultados do MOR, que o valor médio superior, referente aos painéis compostos por resíduos de painéis MDF e 10% de resina (T3), difere estatisticamente do valor médio obtido nos painéis com resíduos de MDF e 6% de resina (T10). Os painéis com resíduos de MDP e 6% de resina (T8), obtiveram o menor valor para MOR (4,93 MPa), mas igualaram-se estatisticamente aos painéis com resíduos de MDP e 10% de resina (T1). Além disso, o valor médio dos painéis com resíduos de compensados e 6% de resina (T9) foi estatisticamente igual ao valor médio dos painéis com resíduos de compensados e 10% de resina (T2).

De modo geral, os painéis com resíduos de MDP (T8) e compensados (T9) apresentaram os menores valores para MOR, o que pode ser explicado pela menor proporção de resina, podendo causar menor adesão entre as partículas. Entretanto, considerando as características das partículas, estudos mais detalhados podem ser realizados, abordando fatores como a razão de esbeltez, a razão de planicidade e a presença de extrativos nos resíduos, para explicar melhor os valores obtidos nesta propriedade mecânica.

Analisando os painéis com partículas de MDF, nota-se que estas partículas melhoraram a resistência dos painéis, tanto puras quanto nas misturas.

De acordo com Moslemi (1974), Vital, Haselein e Della Lucia (1992), Maloney (1993), Iwakiri (2005), painéis produzidos com partículas que apresentam elevado índice de esbeltez, normalmente apresentam propriedades elevadas no ensaio de flexão estática.

Segundo Saldanha (2004) a planicidade das partículas favorece o processo de aplicação da resina, a formação do colchão e a área de contato entre as

partículas, ou seja, quanto maior a razão de planicidade, melhores são as condições de distribuição da resina.

Os valores médios, observados na Tabela 13, para o Módulo de Elasticidade variaram de 882,96 MPa (T8) a 1522,31 MPa (T5).

Os painéis produzidos com resíduos puros e 10% de resina (tratamentos 1, 2 e 3) são estatisticamente iguais entre si, o que significa que as diferenças entre as partículas dos resíduos de painéis não foram significativas para este ensaio mecânico. Entre esses tratamentos, os painéis com resíduos de compensados (T2) tiveram a maior média (1429,51 MPa), enquanto os painéis com resíduos de MDF (T3), tiveram a menor média para MOE (1129,31 MPa).

Em relação aos painéis com misturas de resíduos (tratamentos 4, 5, 6 e 7), os valores de MOE apresentaram-se estatisticamente iguais entre si, portanto, as misturas de partículas dos resíduos também não apresentaram diferenças significativas para MOE. Nesta análise, os painéis com resíduos de MDP e compensados (T5) tiveram a maior média de MOE (1522,31 MPa), enquanto os painéis produzidos com resíduos de MDP e MDF (T4), tiveram a menor média (1168,09 MPa) para o módulo de elasticidade.

Nos tratamentos com partículas puras de resíduos e 6% de resina, os painéis produzidos com resíduos de MDP (T8) apresentaram o menor valor para o módulo de elasticidade (882,96 MPa), igualando-se estatisticamente aos painéis com resíduos de compensados (T9), com o maior valor entre estes tratamentos (1236,38 MPa), e aos painéis com resíduos de MDF (T10).

Analisando a diferença na proporção de resina (10% e 6%), observa-se que entre os painéis com resíduos de MDP (T1 e T8), de compensado (T2 e T9) e de MDF (T3 e T10) não há variação estatística significativa. Os valores desta análise denotam que a diferente proporção de resina não alterou o resultado referente ao MOE.

Comparando os valores médios da Tabela 13 com trabalhos publicados por outros pesquisadores, por exemplo, Brito (1995), em trabalho com painéis de madeira aglomerada, produzidos com resíduos de serraria (serragem e maravalha) de madeira de *Pinus elliottii*, encontrou valores entre 9,74 a 13,58 MPa para MOR, superiores aos determinados neste ensaio, e 1287,21 e 1653,29 MPa para MOE, semelhantes aos valores da Tabela 13.

No trabalho publicado por Iwakiri *et al.* (2000), com painéis produzidos a partir de resíduos de serrarias, provenientes do desdobro de três espécies de *Eucalyptus* (*E. maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*), fabricados puros ou com estas espécies misturadas, com densidade nominal de 0,75 g/cm³ e duas proporções de resina UF (8 e 12%), constam valores entre 1194,34 e 2260,98 MPa para MOE, e 7,27 e 16,02 MPa para MOR.

Conforme artigo publicado por Dacosta *et al.* (2005), para painéis de madeira aglomerada, fabricados com resíduos do processamento mecânico de *Pinus elliottii*, com densidade nominal de 0,6 e 0,7g/cm³ e 4%, 8% e 12% de resina UF, os valores obtidos para MOR variaram de 5,06 a 9,72 MPa, e para MOE variaram de 522,69 a 1183,75 MPa. Neste caso, os valores do MOE apresentam-se abaixo de alguns valores encontrados na Tabela 13.

Conforme pesquisa de Iwakiri *et al.* (2005), referente a produção de painéis aglomerados de *Pinus spp.*, com densidade de 0,650 g/cm³ e 8% de resina UF, os valores encontrados foram de 0,69 MPa e 267,09 MPa para MOR e MOE, respectivamente. Os mesmos autores encontraram, para painéis com densidades de 0,650 g/cm³ e 0,900 g/cm³, ambos com 8% de resina MUF, valores de 1,90 e 8,73 MPa para MOR e 503,69 e 2075,69 MPa para MOE.

Em trabalho publicado por Melo e Del Menezzi (2010), para painéis de *Eucalyptus grandis*, produzidos com densidade de 0,6, 0,7 e 0,8 g/cm³ e 8% de resina ureia-formaldeído, os valores de MOR e MOE variaram de 14,62 a 18,53 MPa e 1398 a 1922 MPa, respectivamente.

De modo geral, pode-se observar que os valores relatados por diversos autores apresentam semelhanças com os valores encontrados para flexão estática neste trabalho.

De acordo com a norma europeia EN 312:2003, que estabelece os requisitos mínimos para módulos de ruptura e de elasticidade (13 MPa e 1600 MPa, respectivamente), os valores médios, apresentados na Tabela 13, encontram-se abaixo do valor mínimo exigido, determinando não-conformidade para estas propriedades mecânicas.

4.2.2.2 Tração perpendicular à superfície

Os resultados obtidos, a partir do ensaio de tração perpendicular à superfície para os tratamentos, encontram-se na Tabela 14.

TABELA 14 - VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS

TRATAMENTOS	TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE ³	
	MÉDIA (MPa)	CV (%)
T1 – MDP ¹	0,54 de	27,72
T2 – C ¹	0,48 bcde	6,25
T3 – MDF ¹	0,46 bcd	17,92
T4 – MDP/MDF	0,56 e	8,67
T5 – MDP/C	0,51 cde	7,95
T6 – C/MDF	0,55 e	9,00
T7 – MDP/C/MDF	0,50 cde	10,37
T8 – MDP ²	0,44 bc	16,03
T9 – C ²	0,40 b	15,99
T10 – MDF ²	0,26 a	45,17

NOTAS: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; MDF: painéis Medium Density Fiberboard; C: painéis compensado; MDP: painéis Medium Density Particleboard; ¹Painéis produzidos com 10% de resina UF; ²Painéis produzidos com 6% de resina UF. ³Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,731 g/cm³.

Os valores médios para tração perpendicular à superfície, observados na Tabela 14, variaram de 0,26 MPa (T10) a 0,56 MPa (T4).

Os painéis produzidos com resíduos puros e 10% de resina (tratamentos 1, 2 e 3), apresentaram médias estatisticamente iguais entre si. Nesta análise, os painéis com resíduos de MDP (T1) apresentaram a maior média (0,54 MPa), enquanto os painéis com resíduos de MDF (T3) apresentaram a menor média (0,46 MPa).

Entre os painéis com misturas de resíduos (tratamentos 4, 5, 6 e 7), a análise estatística também apresentou valores significativamente iguais entre si, demonstrando que as misturas das diferentes partículas de resíduos de painéis não alteraram os resultados desta propriedade. Comparando os valores médios para estes tratamentos, os painéis produzidos com resíduos de MDP e MDF (T4) apresentaram a maior média (0,56 MPa), enquanto os painéis produzidos com a

mistura dos três resíduos (T7) apresentaram a menor média neste ensaio (0,50 MPa).

Nos painéis produzidos com resíduos puros e 6% de resina (tratamentos 8, 9 e 10), os painéis com resíduos de MDP (T8) e compensados (T9) são estatisticamente iguais, com valores de 0,44 MPa e 0,40 MPa, respectivamente. Os painéis com resíduos de MDF (T10) apresentaram o menor resultado no ensaio de tração perpendicular à superfície (0,26 MPa), sendo estatisticamente diferente dos demais tratamentos do experimento.

Analisando a proporção de resina (10% e 6%), observa-se que entre os painéis de MDP (T1 e T8) existe diferença estatística significativa, com valores médios de 0,54 MPa (T1) e 0,44 MPa (T8). Nos painéis com resíduos de compensado (T2 e T9) não há diferença estatística significativa. Por fim, entre os painéis de resíduos de MDF (T3 e T10) houve variação significativa, onde os painéis com maior proporção de resina tiveram média de 0,46 MPa (T3), enquanto os painéis com 6% de resina apresentaram média de 0,26 MPa (T10).

Em comparação com trabalhos publicados, Brito (1995) pesquisou painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serraria (serragem e maravalha) de *Pinus elliottii* e encontrou valores entre 0,32 e 0,58 MPa no ensaio de tração perpendicular à superfície. Esta faixa de valores encontrada por Brito (1995) permite o enquadramento de nove tratamentos deste experimento (Tabela 14), excetuando-se apenas o tratamento 10.

Em trabalho publicado por Iwakiri *et al.* (2000), com painéis produzidos puros ou em misturas a partir de resíduos de serrarias de três espécies de *Eucalyptus* (*E. maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*), com densidade nominal de 0,75 g/cm³ e duas proporções de resina UF (8 e 12%), constam valores entre 0,75 e 1,34 para tração perpendicular à superfície, acima dos valores encontrados neste experimento (Tabela 14).

Segundo artigo publicado por Dacosta *et al.* (2005), para painéis de madeira aglomerada, fabricados com resíduos do processamento mecânico de *Pinus elliottii*, com densidade nominal de 0,6 e 0,7 g/cm³ e 4%, 8% e 12% de resina UF, os valores obtidos no ensaio de tração perpendicular à superfície ficaram entre 0,09 e 0,23 MPa.

Conforme trabalho publicado por Melo e Del Menezzi (2010), para painéis de *Eucalyptus grandis*, produzidos com densidade de 0,6, 0,7 e 0,8 g/cm³ e 8% de

resina ureia-formaldeído, os valores de tração perpendicular à superfície variaram de 0,28 e 0,35 MPa.

Em relação aos requisitos exigidos pela norma EN 312:2003, na qual o valor mínimo é de 0,35 MPa para tração perpendicular à superfície, pode-se afirmar que apenas o tratamento 10 obteve valor inferior a este requisito. Os demais tratamentos apresentaram valores superiores para tração perpendicular, estando em conformidade com a norma europeia. Portanto, os nove tratamentos aprovados estão, sob este aspecto, aptos para aplicações em interiores em condição seca, incluindo móveis.

4.2.2.3 Resistência ao arrancamento de parafuso

Os resultados obtidos, a partir do ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso, são apresentados na Tabela 15.

TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFÍCIE E NO TOPO DOS PAINÉIS

TRATAMENTO	SUPERFÍCIE		TOPO	
	MÉDIA (N)	CV (%)	MÉDIA (N)	CV (%)
T1 – MDP ¹	1049,48 bcd	4,74	1066,75 def	9,95
T2 – C ¹	996,36 bcd	11,82	1004,31 de	19,55
T3 – MDF ¹	887,83 ab	14,78	934,03 cd	15,44
T4 – MDP/MDF	1200,12 d	16,51	1345,69 g	7,96
T5 – MDP/C	810,36 ab	29,03	591,13 a	17,87
T6 – C/MDF	1140,08 cd	19,12	1258,63 fg	17,73
T7 – MDP/C/MDF	1195,43 d	10,83	1201,31 efg	18,11
T8 – MDP ²	870,94 ab	17,59	718,17 abc	30,53
T9 – C ²	905,48 abc	11,69	846,75 bcd	12,29
T10 – MDF ²	723,73 a	21,51	621,74 ab	25,61

NOTAS: Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; MDF: painéis *Medium Density Fiberboard*; C: painéis compensado; MDP: painéis *Medium Density Particleboard*; ¹Painéis produzidos com 10% de resina UF; ²Painéis produzidos com 6% de resina UF.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 15, os valores de resistência ao arrancamento de parafuso variaram de 723,73 N (T10) a 1200,12 N (T4) na superfície e 591,13 N (T5) a 1345,69 N (T4) no topo.

Os painéis produzidos com resíduos puros e 10% de resina (tratamentos 1, 2 e 3), apresentaram médias estatisticamente iguais entre si, tanto entre os valores médios da superfície como entre os valores do topo. Nesta análise, os painéis produzidos com resíduos de MDP (T1) apresentaram as maiores médias em ambos os ensaios, com 1049,48 N na superfície e 1066,75 N no topo, enquanto os painéis produzidos com resíduos de MDF (T3) apresentaram as menores médias, com 887,83 N na superfície e 934,03 N no topo.

Entre os painéis com misturas de resíduos (tratamentos 4, 5, 6 e 7), há diferenças estatísticas. No ensaio de superfície, os painéis dos tratamentos 4 (MDP e MDF), 6 (compensados e MDF) e 7 (MDP, compensados e MDF) são estatisticamente iguais, divergindo dos painéis produzidos com MDP e compensado

(T5). No ensaio de topo, a mesma observação pode ser feita, onde apenas o tratamento 5 diferiu estatisticamente dos tratamentos 4, 6 e 7.

Considerando os valores médios dos painéis puros com 6% de resina (tratamentos 8, 9 e 10) é possível observar a igualdade estatística, tanto entre os valores da superfície quanto do topo. As maiores médias foram obtidas nos painéis com resíduos de compensados (T9), onde os valores foram de 905,48 N (superfície) e 846,75 N (topo). As menores médias foram encontradas nos painéis com resíduos de MDF (T10), onde os valores foram de 723,73 N (superfície) e 621,74 N (topo).

Em relação à proporção de resina, percebe-se que existe pequena variação estatística entre os tratamentos. No ensaio de superfície, os tratamentos 1, 2 e 3 são estatisticamente iguais aos tratamentos 8, 9 e 10, respectivamente. Porém, no ensaio de topo apenas os tratamentos 2 e 9 (compensados) igualam-se estatisticamente. Entre os tratamentos 1 e 8 (MDP) existe diferença estatística, onde os valores médios foram de 1066,75 N (topo) para 10% de resina (T1), e de 718,17 N (topo) para 6% de resina (T8). Os tratamentos 3 e 10 (MDF) também são estatisticamente diferentes, onde os valores médios foram de 934,03 N (topo) para 10% de resina (T3), e de 621,74 N (topo) para 6% de resina (T10).

Considerando que o ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso foi efetuado de acordo com os procedimentos preconizados na norma ABNT NBR 14810-3:2006, que determina valor mínimo de 1020 N para superfície e de 800 N para topo, os resultados obtidos foram comparados a esses requisitos. Pode-se observar, na Tabela 15, que os tratamentos 2, 3, 5, 8, 9 e 10, no ensaio de superfície, e os tratamentos 5, 8 e 10, no ensaio de topo, não atingiram os valores mínimos exigidos.

Em termos gerais, analisando os valores médios para superfície e topo, normalmente a superfície tende a apresentar os maiores resultados de resistência, principalmente devido ao gradiente de densidade formado durante o processo de prensagem. O fato do parafuso de topo estar localizado exclusivamente no centro do painel, onde geralmente ocorre a menor densificação, também favorece os resultados superiores na superfície. No entanto, esta relação não é evidenciada em todos os tratamentos, sendo justificada pela desuniformidade na deposição das partículas durante a formação manual do colchão.

Conforme artigo publicado por Dacosta *et al.* (2005), para painéis de madeira aglomerada, fabricados com resíduos do processamento mecânico de

Pinus elliottii, com densidade nominal de 0,6 e 0,7g/cm³ e 4%, 8% e 12% de resina UF, os valores obtidos no ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso ficaram entre 451,11 e 745,31 N.

Em trabalho publicado por Melo & Del Menezzi (2010), para painéis de *Eucalyptus grandis*, produzidos com densidade de 0,6, 0,7 e 0,8 g/cm³ e 8% de resina ureia-formaldeído, os valores de arrancamento de parafuso variaram de 710 a 966 N.

Pode-se observar que os valores médios obtidos na Tabela 15 são superiores aos valores encontrados pelos pesquisadores relacionados acima.

5 CONCLUSÕES

Com base nas análises efetuadas e nos resultados obtidos neste trabalho, é possível apresentar as seguintes conclusões:

- Entre os painéis produzidos com resíduos puros e 10% de resina, os painéis com MDF apresentaram as melhores médias nas propriedades físicas, enquanto os painéis com MDP se destacaram nas propriedades mecânicas.
- Entre os painéis produzidos com misturas de resíduos, os painéis com MDP e MDF apresentaram as melhores médias nas propriedades físicas e os painéis com compensado e MDF nas propriedades mecânicas.
- Entre os painéis produzidos com resíduos puros e 6% de resina, os painéis com MDF apresentaram as melhores médias nas propriedades físicas novamente e os painéis com compensados nas propriedades mecânicas.
- A menor proporção de resina reduziu as propriedades mecânicas de alguns painéis, sobretudo entre os painéis com resíduos de MDP e entre os painéis com resíduos de MDF.
- Os painéis com resíduos de compensados apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação aos demais, devido à parafina aplicada.
- A interação das partículas de MDF com as partículas de compensado e de MDP nas misturas apresentaram bons resultados.
- Os painéis produzidos com resíduos de MDP e MDF (T4), compensados e MDF (T6) e com a mistura dos três resíduos (T7) obtiveram as maiores médias nas propriedades físicas e mecânicas.

- Os resíduos de painéis MDP, compensado e MDF, todos compostos por madeira de *Pinus* spp., apresentam potencial técnico para reconstituir novos painéis, conforme o princípio da logística reversa.

6 RECOMENDAÇÕES

Com base nas conclusões obtidas, as seguintes recomendações podem ser apresentadas:

- Quantificação do volume de resíduos de painéis de madeira gerados nas indústrias de painéis, indústrias moveleiras e construção civil, visando o reaproveitamento desse material em escala industrial.
- Avaliação da produção de partículas a partir dos resíduos de painéis MDF utilizando outro equipamento.
- Avaliação da viabilidade de utilização dos resíduos de painéis na camada interna de painéis aglomerados, visando melhorar a qualidade dos painéis.
- Produção de painéis de madeira aglomerada a partir destes resíduos, com diferentes proporções de resina, avaliando a influência da disponibilidade de resina.
- Estudos para caracterizar as partículas geradas de cada resíduo, subsidiando a produção de painéis de madeira aglomerada com propriedades mecânicas superiores, em conformidade com as normas EN 312:2003 e ABNT 14.810-2:2006.
- Estudos que avaliem a incorporação de partículas de resíduos de painéis, em diferentes proporções, na produção industrial de MDP.
- Estudos referentes à logística reversa desses resíduos para produção painéis de madeira aglomerada, com análise de viabilidade econômica.
- Estudos relacionados à mitigação dos impactos ambientais pelo aproveitamento dos resíduos em processos produtivos.

REFERÊNCIAS

ALBERTO, M. M. M. Efeito da geometria das partículas e da densidade sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards”. 122 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

ALBIN, R. A. Determinacion del pH en diversas species de los renovales de la provincial de Valdivia. **Bosque**, v. 1, n. 1, p. 3-5, 1975.

ALBUQUERQUE, C. E. C. Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados. 150 f. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2009, ano base 2008**. ABIMCI, Curitiba - PR, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. **Nossos produtos**. 2010. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>>. Acesso em: 17 nov. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS– ABNT. NBR 14810 – 1 – **Painéis de Partículas de Média Densidade** – Parte 1 – Terminologia. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 14810 – 2 – **Chapas de madeira aglomerada** – Parte 2 – Requisitos. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 14810 – 3 – **Chapas de madeira aglomerada** – Parte 3 – Métodos de Ensaio. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2010** – ano base 2009. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 26 out. 2010.

BATISTA, D. C.; BRITO, E. O.; SETUBAL, V. G.; GÓES, L. G. de. Fabricação de chapas de aglomerados em três camadas de *Pinus elliottii* Engelm. com adição de casca de *Eucalyptus pellita* F.Muell. **Revista Cerne**, v. 13, n.2, p. 178-187, 2007.

BONDUELLE, A.; YAMAJI, F.; BORGES, C. C. Resíduo de Pinus: Uma fonte para novos produtos. **Revista da Madeira**, Curitiba – PR, v. esp., n. dez/02, p. 156-158,

2002.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. de; SILVA, D. A. da; KLOCK, U. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Revista Floresta**, v. 32, n. 2, p. 247-259, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Lei nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 05 set. 2010.

BRITO, E. O. Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas e *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* plantado no Sul de Brasil. Curitiba, 1995. 123 p. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

BRITO, E. O.; BATISTA, D. C.; VIDAURRE, G. B.; SAMPAIO, L. de C. Chapas de madeira aglomerada de uma camada de *Pinus elliottii* Engelm com a adição das cascas de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Cerne**, v. 11, n. 4, p. 369-375, 2005.

BRITO, E. O. A Viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para a produção de chapas de composição estruturais “waferboards”. 102 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

BS EN 312-3:1997. **Particleboards**. Specifications. Requirements for boards for interior fitments (including furniture) for use in dry conditions. 1997.

CABRAL, C. P.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa- MG, v.31, n.5, p.897-905, 2007.

CAI, Z. et al. Effects of press sizes on internal steam pressure during particleboard hot-pressing process. **Forest Products Journal**, v. 59, n. 4, p.40-44, 2009.

CARNEIRO, A. de C. O.; VITAL, B. R.; FREDERICO, P. G. U.; CARVALHO, A. M. M. L.; VIDAURRE, G. B. Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e ureia-formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.521-531, 2009.

CHIPANSKI, E. do R. Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil. 2006. 193f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências

Florestais)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CRAIGHEAD, P. W. Waxes and water-soak test for Wood panels. Proceedings, **In:** International Particleboard Composite Materials Symposium, 25th Washington State University, Proceedings, 1991. p. 181-204.

DACOSTA, L.P.E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, É. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **In:** Revista Ciência Florestal, v. 15, n. 03, p. 311-322, 2005.

ELEOTÉRIO, J. R. Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina. 121 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

EUROPEAN STANDARD. EN 312. **Particleboards** – Specifications. English version. 2003.

FAGUNDES, H. A. V. Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul. 2003. 180f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FONTES, P. J. P. de. Auto-suficiência energética em serraria de *Pinus* e aproveitamento dos resíduos. Curitiba, 1994. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1994.

GOLDSTEIN, I. S. Overview of the chemical composition of wood. p. 1-5 1991. **In:** International Fiber Science and technology, Proceedings, v. 11, 1991, 488p.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Revista Árvore**, v. 27, n.3, p. 365-370, 2003.

HEEBINK, B. G. Wax in particleboards. **In:** Symposium on Particleboard, 1st Proceedings, Washington State University, p. 251-268, 1967.

HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood**. Berlin: Springer, 1997. 362p.

HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído. 96 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal)– Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Estabilidade dimensional de chapas aglomeradas estruturais (flakeboards) fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalyptus e Acácia negra. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 80-94, 2004.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia-negra. **Ciência Florestal**, v. 12, n.1, p. 59-65, 2002.

HILLIG, É; SCHNEIDER, V. E. Resíduos da atividade moveleira e de base florestal: caracterização e aproveitamento. Capítulo 6. In: Pólo Moveleiro da Serra Gaúcha – sistemas de gerenciamento ambiental na indústria moveleira. **Orgs.** SCHNEIDER, V. E.; NEHME, M. C.; BEN, F. Caxias do Sul: EducS, 2006.

HILLIG, É; SCHNEIDER, V. E.; PAVONI, E. T. Diagnóstico da geração de resíduos e dos Sistemas de Gestão Ambiental das empresas do Polo Moveleiro da Serra Gaúcha. Capítulo 2. In: Pólo Moveleiro da Serra Gaúcha – geração de resíduos e perspectivas para sistemas de gerenciamento ambiental. **Orgs.** HILLIG, É. SCHNEIDER, V. E.; PAVONI, E. T. Caxias do Sul: EducS, 2004.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S. de; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. do R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-ureia-formaldeído. In: Revista Cerne. Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B. da.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. In: Scientia Agraria, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005, 247 p.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. de C.; SILVA, J. R. M. da; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo ureia-formaldeído. In: **Revista Árvore**, vol. 26, nº 03. Viçosa, MG, maio/junho, 2002.

IWAKIRI, S. A influência das variáveis de processamento sobre propriedades das chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus. 130 f. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

JANKOWSKY, I. P. **Colagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ, 1988. 45 p.

JAGGER, R. W. The new pallmann ring refiner, type PF, for green sawdust, shavings, and other such materials. **In:** International Particleboard Composite materials Symposium, 26th Proceedings, Washington State University, 1992. p. 94-105.

KELLY, M. W. **A Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. U.S. For. Prod. Lab. General Technical Report FPL-10, 1977. 66 p.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A. **Principles of wood science and technology II**. Wood based materials, 703p. New York, USA, 1975.

LEHMANN, W. F. Improved particleboard through better resin efficiency. **Forest Products Journal**, v. 15, n. 4, p. 155-162, 1965.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. de C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de Eucalyptus e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

MACEDO, A. R. P., ROQUE, C. A. L. **Painéis de Madeira**. BNDES. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/Bnset/painel.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2008.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Inc., 1993. 689 p.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1989. 672 p.

MALONEY, T. M. Resin distribution in layered particleboard. **Forest Products Journal**, v. 20, n. 1, p. 43-52, 1976.

MARRA, A. A. **Technology of Wood bonding**: principles and practice. New York, Van Nostrand Reinhold 1992, 453 p.

MATOS, J. L. M. Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards. 164 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MATOS, J. L. M. de; KEINERT JR, S. Estudo do ciclo da prensa para a produção de painéis waferboard – Parte I – Efeito sobre as propriedades de resistência. **Revista Floresta**, Curitiba – PR, v. 18, nº 12, 1988.

MENDES, L. M. *Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). 156 f. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MELO, R. R. de; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da Massa Específica nas Propriedades Físico-Mecânicas de Painéis Aglomerados. In: Revista Silva Lusitana, v.18, n.1. Lisboa, jun. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?pid=S0870-63522010000100004&script=sci_arttext>. Acesso em: 23 jan. 2011.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illinois: Southern Illinois University Press, 1974. v. 1. 244 p.

MOTTA, R. S. da. **Indicadores ambientais no Brasil**: aspectos ecológicos, de eficiência e distributivos. Rio de Janeiro, 1996. (Texto para discussão, n. 403).

OLANDOSKI, D. P. Rendimento, resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústria de chapas compensadas. 2001, 85 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal)– Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

REMADE. Mercado estimula produtos de madeira com valor agregado. **Revista da Madeira**, Curitiba – PR, ano 14, n. 84, out. 2004a. Disponível em: <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=84&id=630>. Acesso em: 06 out. 2008.

REMADE. Produção de chapas com diferentes espécies de pinus. In: **Revista da Madeira**, Curitiba – PR, ano 14, n. 84, out. 2004b. Disponível em: <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=84&id=634>. Acesso em: 06 out. 2008.

SALDANHA, L. K. Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”. 83 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SANTOS, R. C. dos; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Chapas de partículas aglomeradas produzidas a partir de resíduos gerados após a extração do óleo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba – SP, v. 37, n. 84, p. 437-446, 2009.

SCHWARTZ, F. E.; ANDERSON, R. L.; KAGDER, A.G. Resin distribution and how variations affect board quality. In: Particleboard Symposium, 2th, Proceedings, Washington State University, 1968. p. 7-30.

SMITH, David C. *The generation and utilization of residuals from composite panel products*. **Forest Products Journal**, v. 54, n.2, p. 8-17, fev. 2004.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação dos conceitos da ecologia industrial para a produção de painéis ecológicos**: o exemplo do resíduo de madeira. Salvador, Bahia: [s.n.], 2005. 159 p.

TEODORO, A. S. Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB. 91 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties and utilization. New York, 1991. 494 p.

ULIANA, L. R. **Diagnóstico da geração de resíduos na produção de móveis: subsídios para a gestão empresarial**. 2005. 101f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais do programa de Pós-Graduação da Esalq)–Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/autores.php?letra=U>>. Acesso em: 05 mar. 2010.

VIGNOTE P., S.; JIMÉNEZ P. F. J. **Tecnología de la madera**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996. 602p.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, v.16, n.1, p.88-96, 1992.

WANG, S.; WINISTORFER, P. M. The effect of species and species distribution on the layer characteristics of OSB. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 4, p. 37-44, 2000.